การศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ของรำละเอียดต่อการส่งเสริมสุขภาวะลำไส้ และประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อ

โดย
นางสาวสุวนันท์ เสร็จกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564

การศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ของรำละเอียดต่อการส่งเสริมสุขภาวะลำไส้และประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อ

โดย
นางสาวสุวนันท์ เสร็จกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564

STUDY OF PREBIOTIC PROPERTIES FROM RICE BRAN ON GUT HEALTH AND PRODUCTION PERFORMANCE OF BROILER CHICKENS

By

MISS Suwanan SETKIT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (Animal Science)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2021

หัวข้อ	การศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ของรำละเอียดต่อการส่งเสริมสุขภาวะลำไส้ และประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อ
โดย	สุวนันท์ เสร็จกิจ
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิเชษฐ ศรีบุญยงค์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาวดี มานะไตรนนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิเชษฐ ศรีบุญยงค์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจษฎา รัตนวุฒิ)

61751202 : สัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : รำละเอียด, พรีไบโอติก, เอนไซม์, ไก่เนื้อ, ประสิทธิภาพการผลิต, สุขภาวะลำไส้

นางสาว สุวนันท์ เสร็จกิจ: การศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ของรำละเอียดต่อการส่งเสริมสุขภาวะลำไส้ และประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อคุณสมบัติเบื้องต้นของความเป็นพรีไบโอติก สมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็ก และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ต่อการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion) แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 6 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่ 1 รำละเอียด (RB) กลุ่มที่ 2 รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (RB+E) กลุ่มที่ 3 อาหารไก่เล็กที่เสริมรำละเอียด (S) กลุ่มที่ 4 อาหารไก่เล็กที่เสริมรำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (S+E) กลุ่มที่ 5 อาหารไก่รุ่นที่เสริมรำละเอียด (G) และกลุ่มที่ 6 อาหารไก่รุ่นที่เสริมรำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (G+E) พบว่ากลุ่ม RB+E, S+E และ G+E ซึ่งเป็นกลุ่มที่เสริมด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่สูง (P<0.01) กว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม เมื่อวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้โดยวิธี Thin layer chromatography (TLC) ใช้กลูโคสและเซลโลไบโอสเป็นสารเทียบเคียง พบว่าโอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นของทั้ง 6 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยผลผลิตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมนั้นแสดงให้เห็นว่ามีน้ำตาลกลูโคสและโอลิโกแซคคาไรด์

การทดลองที่ 2 การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อประสิทธิภาพการผลิต สัณฐานวิทยาลำไส้และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ การทดลองครั้งนี้ใช้ไก่เนื้อ (Ross 308) คละเพศจำนวน 525 ตัว แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 5 กลุ่มการทดลองตามสูตรอาหาร ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยแต่ละสูตรอาหารจะแบ่งออกเป็นอาหารช่วงไก่เล็ก (1-17 วัน) และไก่โต (18-35 วัน) ดังนี้ กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1) กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่เสริมรำละเอียด 7.5% และ 12.5% ในไก่เล็กและไก่โต ตามลำดับ (T2) กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่เสริมรำละเอียด 7.5% และ 12.5% ในไก่เล็กและไก่โต ตามลำดับ + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3) กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่เสริมรำละเอียด 10% และ 15% ในไก่เล็กและไก่โต ตามลำดับ (T4) และกลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่เสริมรำละเอียด 10% และ 15% ในไก่เล็กและไก่โต + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5) ผลการทดลองต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน (ไก่เล็ก) พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการ

ทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) รำละเอียดสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่เนื้อระยะไก่เล็กได้ถึง 12.5% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต สำหรับไก่เนื้ออายุ 18-35 วัน (ไก่รุ่น) พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม สูงกว่ากลุ่ม T2 และ T4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม T3 และ T5 ($P>0.05$) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของไก่เนื้อ กลุ่ม T4 และ T5 ดีกว่ากลุ่ม T1 ($P<0.01$) ในระยะไก่รุ่นสามารถใช้รำละเอียดได้ถึง 15% โดยส่งผลทำให้ลดปริมาณอาหารที่กินได้ และปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่ดีขึ้น และสมรรถภาพการเจริญเติบโตตลอดช่วง พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อกลุ่ม T1 สูงกว่าทุกกลุ่มการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร กลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมไม่แตกต่าง ($P>0.05$) จากกลุ่ม T2 แต่ด้อยกว่ากลุ่ม T3 T4 และ T5 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ทั้งนี้ โดยภาพรวมการใช้รำละเอียดที่ 12.5% ร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมมีแนวโน้มต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารให้ดีขึ้น

ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ส่วนกลาง (Jejunum) และส่วนปลาย (Ilium) ของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน พบว่าที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นของไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความสูงของ villi แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีค่าความสูงของ villi ที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง ความลึกของ crypt กลุ่ม T2 และ T3 มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ($P<0.001$) พื้นที่ผิวของ villi กลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีค่ามากกว่า ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับ T4 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการเสริมรำละเอียดสูงสุดในอาหารไก่เนื้อและอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ 4 มีค่าอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt มากที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่ม T1 และ T2 แต่มีค่าไม่แตกต่าง ($P>0.05$) ทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่ม T3 และ T5 ลำไส้เล็กส่วนกลาง พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความสูงของ villi และ พื้นที่ผิวของ villi ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ความลึกของ crypt และอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) โดยกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการเสริมรำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใย มีความลึกของ crypt น้อยที่สุด และอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง ลำไส้เล็กส่วนปลาย พบว่าไก่เนื้อกลุ่ม T2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการเสริมรำละเอียดมีค่าความสูงของ villi ความลึกของ crypt มีค่าแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) โดยกลุ่ม T3 T4 และ T5 มีความลึกของ crypt และ พื้นที่ผิวของ villi มากที่สุด ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นและอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ของกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม มีค่าน้อยกว่า ($P<0.01$) กลุ่ม T3 T4 และ T5 นอกจากนี้ผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *E. coli* และ Lactic acid bacteria (LAB) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นการใช้รำละเอียดในอาหารไก่เล็กทุกระดับ (7.5 และ10.0%) และในไก่รุ่น (12.5 และ 15%) ร่วมกับด้วยการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมที่ระดับ0.02% ไม่ส่งผลต่อปริมาณประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *E. coli* และ Lactic acid bacteria

61751202 : Major (Animal Science)
Keyword : Rice bran, Prebiotics, Enzyme, Broilers, Performance, Gut health

MISS SUWANAN SETKIT : STUDY OF PREBIOTIC PROPERTIES FROM RICE BRAN ON GUT HEALTH AND PRODUCTION PERFORMANCE OF BROILER CHICKENS THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR PATTARAPORN POOMARIN, Ph.D.

The objective of this research was to study the use of multi enzymes in the broiler feed with rice bran on the basic properties of prebiotics, growth performance, small intestine morphology and microbial populations in cecum of broiler chickens. This study was divided into 2 experiments. In Experiment 1, effect of multi-enzyme supplementation on the digestibility of rice bran in vitro (In vitro digestion) was divided into 6 treatments: treatment 1 was rice bran (RB), treatment 2 was rice bran with enzyme (RB+E), treatment 3 was supplemented rice bran in starter diet (S), treatment 4 was supplemented rice bran in starter diet with enzyme (S+E), treatment 5 was supplemented rice bran in grower diet (G) and treatment 6 was supplemented rice bran in grower diet with enzyme (G+E). It was found that the RB+E, S+E, and G+E treatments, which were the treatments supplemented with enzymes had reducing sugar and total sugar content higher ($P<0.01$) than the treatment without enzyme supplementation. Moreover, the oligosaccharides were analyzed by using thin layer chromatography (TLC) method to compare for glucose and cellobiose standard. It was shown that there was not difference ($P>0.05$) in oligosaccharides from all 6 treatments. Therefore, the products obtained from enzymatic digestion contain both glucose and oligosaccharides.

In Experiment 2, effect of multi enzyme supplementation in broiler diet with rice bran on growth performance, small intestine morphology and microbial populations in cecum of broiler chickens. Ross 308 broiler chicken was used for this study. A total of 525 ross 308 broilers with 1-day-old and mixed genders were randomly assigned to 5 diet treatments, using the completely randomized design (CRD). Each diet treatment was divided into starter period diet (1-17 days) and grower period diet (18-35 days). The treatment diets consisted of treatment 1, the control diet (T1), treatment 2, diet with rice bran at 7.5% and 12.5% in starter and grower

period, respectively (T2); treatment 3, diet with rice bran at 7.5% and 12.5% in starter and grower period, respectively + enzymes (T3), treatment 4 diet with rice bran at 10% and 15% in starter and grower period, respectively, (T4), and in treatment 5, diet with rice bran at 10% and 15% in starter and grower period, respectively + enzymes (T5). The results were revealed that at starter period (1.17 days), all groups of broiler chicken were not significantly different ($P>0.05$) on growth performance. Therefore, rice bran can be used as energy source in starter period of broiler chicken diet up to 12.5% without adverse effect on growth performance. At the age of 18-35 days (grower period), the body weight gain in all groups was not statistically different ($P>0.05$). Feed intake of T1 in the control group, was significantly higher ($P<0.01$) than the T2 and T4 groups but it was not significantly different ($P>0.05$) betweenT3 and T5. Feed conversion ratio of T4 and T5 was greater than T1 group ($P<0.01$), and at the age of 1-35 days and the body weight gain was not significantly difference ($P>0.05$) in all groups. Feed intake was significantly higher ($P<0.01$) in the T1 group and the feed conversion ratio of T1 group was not significantly different ($P>0.05$) from T2 but it was worse ($P<0.01$) than T3, T4 and T5 groups. Therefore. Overall, using rice bran at 12.5% with enzymes supplementation trends to improve feed conversion ratio.

The effect of multi-enzyme supplementation in broiler diet with rice bran on small intestine (duodenum, jejunum, and ileum) morphology of 35 days old broilers. At the duodenum showed that the villi heights of all groups of broilers were significantly ($P<0.01$), in which the T1 group, the control group, had the lowest villi height. The crypt depths of T2 and T3 groups were higher ($P<0.01$) than other groups. The surface area of T1 group was higher than ($P<0.01$) T4, which was supplemented with rice bran in broiler diets. The ratio of villi height to crypt depth was significantly different ($P<0.05$). Treatment 4 had greatest ($P<0.05$) ratio of villi height to crypt depth compared to T1 and T2 groups, but there was no significant difference ($P>0.05$) compared to the T3 and T5 groups. At the jejunum part, It was shown that all broilers had no significant difference ($P>0.05$) in villi height and villi surface area. The crypt depth and the ratio of villi height to crypt depth were significantly different

(P<0.001), where group 5, had the lowest crypt depth, however, the ratio of villi height to crypt depth was the highest compared to all experimental groups. And at the ilium, all broiler groups, villi heights were significantly different (P<0.001). The T2 group, which was the rice bran had the greater (P<0.01) villi height, crypt depth and ratio of villi height to crypt depth. Broiler fed diet T1 had the ratio of villi height to crypt depth lower (P<0.01) than T3, T4 and T5 groups. In addition, effect of multi-enzyme supplementation in broiler diet with rice bran on microbial populations in cecum at 35 days old of broilers indicated that all broiler groups had not significantly difference (P>0.05) of microbial population of *E. coli* and Lactic acid (LAB). Hence, the use of rice bran in starter diet (7.5 and 10.0% rice bran) and grower diet (12.5 and 15%) did not affect on microbial population of *E. coli* and Lactic acid bacteria.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิเชษฐ ศรีบุญยงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งให้การช่วยเหลือตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาสัตว์ศาตร์ ทุก ๆ ท่านที่อบรมสั่งสอนจนสำเร็จการศึกษา และให้ความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในส่วนของฟาร์มสาธิต คณะสัตวศาตร์และเทคโนโลยีการเกษตร ทุก ๆ ท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือ ในการดูแลไก่เนื้อ ขอขอบคุณนักวิทยาศาตร์ประจำห้องปฏิบัติการ คณะสัตวศาตร์และเทคโนโลยีการเกษตร รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตทุกท่านที่เสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในทุก ๆ เรื่องของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สุดท้าย ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจสนับสนุน และช่วยเหลือจนข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

นางสาว สุวนันท์ เสร็จกิจ

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในบรรดาวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับอาหารสัตว์ ข้าวโพดจัดเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยอาหารสัตว์ประเภทสัตว์กระเพาะเดี่ยว ประมาณ 50 ถึง 70% ในอาหารสัตว์ (ส่วนใหญ่เป็นสัตว์ปีกและสุกร) เป็นแหล่งพลังงานหลักและแคโรทีน (วิตามินเอ) ประกอบด้วยโปรตีน 9% ที่มีคุณค่าทางชีวภาพต่ำ (Low biological value Protein: LBV) ไขมันประมาณ 3% และมีเยื่อใยประมาณ 2-2.5% เป็นธัญพืชที่ไม่มีสารพิษ หรือสารต้านโภชนะ ดังนั้น ข้าวโพด จึงมีคุณสมบัติที่ไม่มีขีดจำกัดในสูตรอาหาร และสามารถใช้ได้อย่างเต็มที่ ธัญพืชยังคงเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญที่สุดของโลก ทั้งสำหรับการบริโภคของมนุษย์โดยตรงและโดยอ้อมสำหรับปัจจัยการผลิตปศุสัตว์ ดังนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นในภาคธัญพืชจึงมีความสำคัญต่อเสบียงอาหารของโลก ในอนาคตการบริโภคข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อาจเติบโตเร็วกว่าข้าวหรือข้าวสาลีซึ่งสอดคล้องกับการเติบโตของภาคปศุสัตว์ ผู้ผลิตไก่เนื้อมักประสบกับปัญหาค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้นทุนค่าอาหารสัตว์ที่คิดเป็น 70% ของต้นทุนการผลิต จึงมีการหาวัตถุดิบทดแทนหรือลดการใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร Yapura (2021)

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าวสำคัญของโลกมายาวนาน ในปี 2562/2563 ไทยมีผลผลิตข้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก โดยปริมาณผลผลิตข้าวสารของไทยคิดเป็น 4.2% ของผลผลิตข้าวทั่วโลก รองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนาม และไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 2 ของโลก โดยอัตราการสีข้าวเปลือก 1,000 กิโลกรัมจะได้รำละเอียด 72.84 กิโลกรัม (Sowcharoensuk, 2019) รำละเอียด (rice bran) เป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว โดยได้จากการขัดส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเล็ดข้าวออก ทำให้ข้าวสารมีสีขาวสวย รำละเอียดถือว่าเป็นวัตถุดิบอาหารที่ได้รับความนิยมในการผสมอาหารสัตว์โดยทั่วไป เพราะเป็นวัตถุดิบอาหารที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นทั่วไป มีราคาถูกกว่าปลายข้าว รำละเอียดถือว่าเป็นวัตถุดิบอาหารพลังงานพื้นฐานที่มีการใช้ในสูตรอาหารสุกรและสัตว์ปีกชนิดต่าง ๆ มาเป็นระยะเวลายาวนาน มักใช้ร่วมกับวัตถุดิบอาหารพลังงานอื่น ๆ เช่น ปลายข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หรือมันสำปะหลัง เมื่อใช้ในสูตรอาหารแล้วทำให้สูตรอาหารมีราคาถูกลง รำละเอียดเป็นวัตถุดิบอาหารที่มีระดับเยื่อใยอยู่ในเกณฑ์สูงถึง 12-13% และมีความฟูหรือฟ่ามมาก รำละเอียดจึงควรใช้ในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ได้ไม่เกิน 30% รำละเอียดมีเยื่อใยในปริมาณสูงจึงมีข้อจำกัดในการใช้รำละเอียดในสัตว์ปีก (Kullen et al., 1998) อย่างไรก็ตาม Gallinger et al. (2004) รายงานว่าการใช้รำละเอียดที่ระดับ 20% ในอาหารไก่เนื้อส่งผลให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตลดลง การเสริมรำละเอียดที่ระดับ 10% ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการ

เจริญเติบโต ยังมีการศึกษาอื่น ๆ ได้แนะนำว่าไม่ควรใช้รำละเอียดในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุน้อยกว่า 21 วัน (Kullen et al. , 1998) ในสัตว์ปีกก็ยังมีข้อจำกัดในการย่อยและใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะทั้งหมด เป็นเพราะในสัตว์ปีกไม่มีการสร้างเอนไซม์ที่จำเพาะต่อการย่อยพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (ศรีน้อย และ อรพินท์, 2560) โดยทั่วไปรำละเอียดประกอบไปด้วยโปรตีน 12-17% ไขมัน 13-23% คาร์โบไฮเดรต 34-55% เถ้า 8-18% เยื่อใย 6-14% และ นอกจากนี้เยื่อใยในรำละเอียดประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส (31%) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งมี arabinoxylan เป็นองค์ประกอบ, เซลลูโลส (15.5%) และลิกนิน (11.5%) (Ijaz et al., 2021; Sunphorka S et al., 2012) ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม น่าจะลดข้อจำกัดของเยื่อใยในรำละเอียดได้ เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม คือ เอนไซม์ในกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใยจำพวกเฮมิเซลลูโลสในส่วนของ พันธะ β 1, 4 - D xylosidic linkages ของไซแลนให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนส เป็นต้น หรือคาร์โบไฮเดรตสายสั้น ๆ การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในสูตรอาหารรำละเอียดจึงน่าจะสามารถเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะและส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ ได้แต่อย่างไรก็ตามเยื่อใย อาจมีประโยชน์หากสัตว์ได้รับในปริมาณที่เหมาะสม โดยมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Lactobacillus หรือ Bifidobacteria) และลดปริมาณของจุลินทรีย์ก่อโรค (*E.coli* หรือ *Salmonella)*
(ธงชาติ, 2556)

อย่างไรก็ตามการเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้และการนำวัตถุดิบอาหารไปเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตแล้ว การย่อยเยื่อใยหรือพอลิแซคคาร์ไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในวัตถุดิบดังกล่าวอาจได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลสายสั้นหรือโอลิโกแซคคาร์ไรด์ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกส์ สามารถช่วยในการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และ กระตุ้นการตอบสนองภูมิคุ้มกันของสัตว์แต่ไม่เกิดการตกค้างหรือทำให้เกิดการดื้อของจุลินทรีย์เกิดขึ้น (Gaggia et al., 2011) พรีไบโอติกส์ (Prebiotic) เป็นสารที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหารสวนบน โดยสามารถทนตอการย่อยดวยกรด เอนไซมและน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร สงเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรียที่มีประโยชนในลำไสใหญ่และยับยั้งแบคทีเรียที่ทำใหเกิดโรค นอกจากนี้ยังสงเสริมสุขภาพที่ดีต่อผู้บริโภค (Gibson and Roberfroid, 1995; Kolida et al., 2002) พรีไบโอติกส์เป็นคารโบไฮเดรตที่เป็นโอลิโกแซคคาไรด์และพอลิแซคคาไรด์ รวมไปถึงเสนใยอาหารด้วย ซึ่งเสนใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้เป็นพรีไบโอติกส์ชนิดที่ใชกันมากที่สุด (Gibson et al., 2004; Yasmin et al., 2015) พรีไบโอติกส์ผลิตได้จากธรรมชาติ ได้แก พืชต่างๆ เชน ถั่ว ธัญพืช หนอไม้ฝรั่ง หัวหอม กระเทียม และกล้วย เป็นตน เช่น จากการศึกษาของ Kim et al. (2011) และ Ghasemi et al. (2014) พบว่าการเสริมแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ (Mannan oligosaccharide; MOS) ซึ่งเป็นพรีไบ

โอติกส์ส่งผลให้ไก่เนื้อมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ดีกว่าไก่เนื้อในกลุ่มที่ได้รับยาปฏิชีวนะ

ด้วยเหตุนี้ จึงมีการวิจัยการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้ทดสอบเกี่ยวกับการใช้รำละเอียดเป็นวัตถุดิบหลักในอาหารสัตว์โดยมีการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม เพื่อให้วัตถุดิบดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารไก่เนื้อ โดยศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็ก สมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อและประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้เอนไซม์รวมย่อยเยื่อใยในสูตรอาหารไก่เนื้อที่ใช้รำละเอียดในหลอดทดลอง (in vitro digestion) ต่อการศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์เบื้องต้น

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์รวมย่อยเยื่อใยในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดเป็นต่อ สมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็ก และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

1.3. สมมติฐานการวิจัย

รำละเอียดเป็นวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการสีข้าวที่มีแป้งอยู่สูง ซึ่งน่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทางเลือกในอาหารสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามรำละเอียดมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในไก่เนื้อ เยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในรำละเอียดเป็นเยื่อใยในกลุ่มเฮมิเซลลูโลส การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายเยื่อใยในกลุ่มของเฮมิเซลลูโลส จึงน่าจะสามารถย่อยเยื่อใยและเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และเพิ่มระดับการใช้รำละเอียดในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ นอกจากนี้แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกส์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในลำไส้และกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคได้ด้วย

ไก่ในกลุ่มทดลองที่มีการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดจะมีลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็ก และสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อแตกต่างกับไก่ในกลุ่มควบคุมและหรือสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของไก่เนื้อได้มากกว่ากลุ่มควบคุม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ในอาหารที่ใช้รำละเอียดเป็นส่วนประกอบที่มีคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็ก และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไก่

มนุษย์ได้รู้จักนำเอาสัตว์ปีกมาเป็นอาหารหรือผลิตผลที่ได้จากสัตว์ปีกเช่น ไข่ เป็นอาหารมานานแล้ว จากหลักฐานยืนยันว่าไก่ป่า (Red Jungle fowl) ได้ถูกนำมาเลี้ยงเป็นไก่บ้านในประเทศอินเดียมาตั้งแต่เมื่อประมาณ 3,200 ปีก่อนคริสต์ศักราช และในประเทศจีนและอียิปต์เมื่อประมาณ 1,500 ปีก่อนคริสต์ศักราช ปัจจุบันนี้ประมาณว่ามีไก่พันธุ์ต่าง ๆ ที่มนุษย์ได้พยายามผสมพันธุ์และคัดเลือกสายพันธุ์ให้มีพันธุ์ต่าง ๆ ออกมามากกว่า 60 สายพันธุ์เพื่อที่จะให้เนื้อ ไข่และผลิตผลอย่างอื่น

ไก่จัดอยู่ในอันดับไก่ (Order: Galliformes) วงศ์ไก่ฟ้าและนกกระทา (Family: Phasianidae) สกุลไก่ (Genus: Gallus) ไก่ที่เลี้ยงกันอยู่ในปัจจุบันเชื่อกันว่ามีต้นตระกูลมาจากไก่ป่าซึ่งไก่ป่าสีแดง (Red Jungle Fowl; Gallus gallus) มีถิ่นกำเนิดและการแพร่กระจายพันธุ์อยู่แถบเอเชีย กระจายพันธุ์ตั้งแต่ทางตอนเหนือและทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย และบริเวณเชิงเขาหิมาลัยตอนใต้เรื่อยไปจนถึงหมู่เกาะสุมาตรา ชวาและบาหลี

ไก่เป็นสัตว์ปีกที่มนุษย์เลี้ยงเป็นสัตว์เลี้ยงมานานแล้ว มีการคัดเลือกพันธุ์ ผสมพันธุ์ และปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ลักษณะเด่นตามที่ต้องการ ซึ่งไก่ที่เลี้ยงในปัจจุบันสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่ม (Class) ตามถิ่นกำเนิดได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ไก่เมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean class) ไก่เอเชีย (Asiatic class) ไก่อังกฤษ (English class) และไก่อเมริกัน (American class) หรืออาจจะมีการจัดแบ่งกลุ่มไก่ออกตามวัตถุประสงค์ของการเลี้ยงได้เป็น 3 พวก ได้แก่ ไก่ไข่ (Egg type) ไก่เนื้อ (Meat type) และไก่ทวิประสงค์ (Dual purpose) (ประภากร, 2560)

2.1.1 พันธุ์ไก่เนื้อ

พันธุ์ไก่เนื้อที่เลี้ยงในปัจจุบันมีทั้งไก่เนื้อพันธุ์แท้และไก่เนื้อลูกผสม โดยไก่เนื้อพันธุ์แท้จะเลี้ยงเพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์เพื่อผลิตไก่เนื้อลูกผสมทางการค้ามากกว่าการเลี้ยงเพื่อขายเป็นไก่เนื้อโดยแท้จริง เนื่องจากให้ผลผลิตน้อยกว่าไก่เนื้อลูกผสม พันธุ์ไก่เนื้อที่นิยมเลี้ยงสามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์การเลี้ยงได้เป็น

2.1.1.1 ไก่พื้นเมือง (Thai Native Chicken) เป็นไก่พื้นเมืองพันธุ์แท้ของไทย เช่น ไก่ประดู่หางดำ ไก่แม่ฮ่องสอน และไก่เหลือง เป็นต้น มีเนื้อแน่นกว่าไก่พันธุ์ต่างประเทศ มีนิสัยชอบฟักไข่ มีความทนทานต่อโรคสูง และสามารถปรับตัวได้ดีในการปล่อยเลี้ยงตามธรรมชาติ เนื่องจากมีพฤติกรรมหากินเก่ง เนื้อไก่พื้นเมืองเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากมีเนื้อแน่น ปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลต่ำ มีรสชาติดีกว่าไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณไก่พื้นเมืองยังมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เนื่องจากเกษตรกรใช้วิธีการเลี้ยงโดยปล่อยให้หากินตาม

ธรรมชาติ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำ และอัตราการสูญเสียสูง ปัจจุบันมีการนิยมนำไก่พื้นเมืองมาผสมกับไก่พื้นเมืองพันธุ์อื่นๆ เช่น ไก่เซี่ยงไฮ้ ไก่เบตง และไก่โรดโรดไอส์แลนด์เรด เพื่อผลิตไก่ลูกผสมสามสายเลือด ซึ่งเป็นที่นิยมและขายได้ราคาดีกว่าไก่เนื้อโดยทั่วไป (วิทธวัช และคณะ, 2555; ประภากร, 2560)

2.1.1.2 ไก่เนื้อพันธุ์แท้ที่ใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ เป็นไก่ที่ได้รับการคัดเลือกและปรับปรุงสายพันธุ์มาเพื่อให้ได้ลูกไก่ที่มีการเจริญเติบโตเร็ว อายุการเลี้ยงสั้น และให้เนื้อมาก แต่จะส่งผลทำให้ผลผลิตไข่ต่ำ พ่อแม่พันธุ์ไก่กระทงในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ออกมาเป็น สายพันธุ์มาตรฐาน (**Standard type)** และสายพันธุ์ขนาดเล็ก (**Mini-type** หรือ **dwarf-type breeder)** สำหรับผลิตไก่ลูกผสมเพื่อขายเนื้อ ซึ่งจะเป็นพันธุ์ไกในต่างประเทศ ไม่พบการเลี้ยงไก่เนื้อพันธุ์แท้ที่ใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ในประเทศไทย พันธุ์ไก่ที่นำมาใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ไก่เนื้อนั้นจะต้องมีลักษณะเด่นในด้านการให้เนื้อมาก ซึ่งพันธุ์ไก่เนื้อที่นิยมนำมาเลี้ยงเป็นพอแม่พันธุ์ ได้แก่

2.1.1.2.1 ไก่พันธุ์ไวท์พลีมัทร็อค (White Plymouth Rock) มีขนสีขาวทั้งตัวหงอนจักร ผิวหนังสีเหลือง ให้ไข่เปลือกสีน้ำตาล (ดังภาพที่ 1) นิยมเลี้ยงเป็นไก่เนื้อเพราะมีขนสีขาวเมื่อชำแหละแล้ว จะได้ซากไก่ที่ผิวสะอาดกว่าไก่เนื้อที่มีขนสีอื่น ๆ สายพันธุ์ดั้งเดิมเป็นพวกขนงอกช้าแต่ในปัจจุบันได้รับการผสมคัดเลือกพันธุ์ให้มีขนงอกเร็ว ขนาดใหญ่ เติบโตเร็ว นิยมใช้เป็นพันธุ์เริ่มต้นในการผสมข้ามเพื่อผลิตแม่พันธุ์ไก่กระทง (ประภากร, 2560)

ภาพที่ 1 ลักษณะประจำพันธุ์ไก่พันธุ์พลีมัทร็อคขาว (White Plymouth Rock)
ที่มา: สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพังงา (**2558)**

2.1.1.2.2 ไก่พันธุ์คอร์นิช (Cornish) มีหงอนแบบหงอนถั่ว ไข่เปลือกสีน้ำตาลให้ไข่ปีละประมาณ 150 ฟอง ผิวหนังสีเหลือง ขาสั้น ลำตัวกว้าง อกกว้าง (ดังภาพที่ 2) กล้ามเนื้อเต็ม จัดเป็นพวกไก่เนื้อน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ เพศผู้จะหนักประมาณ 4.4 กิโลกรัม เพศเมียหนักประมาณ 3.3 กิโลกรัม ให้ไข่ฟองเล็ก จะเริ่มให้ไข่เมื่ออายุประมาณ 6.5-7 เดือน เปอร์เซ็นต์การ

ฟักออกต่ำ ปัจจุบันใช้เป็นพันธุ์เริ่มต้นในโปรแกรมการผสมพันธุ์เพื่อผลิตไก่กระทงเป็นการค้า เมื่อนำเอาไก่พันธุ์คอร์นิชเพศผู้ผสมกับไก่พันธุ์บาร์พลีมัทร็อคเพศเมีย หรือไก่พันธุ์นิวแฮมเชียร์หรือไก่พันธุ์ไวท์พลีมัทร็อค ไก่ลูกผสมเพศเมียได้จะเป็นไก่ไข่ที่ให้ไข่ฟองใหญ่ เปอร์เซ็นต์ฟักออกดี และคุณภาพเนื้อดีด้วย (ประภากร, 2560)

ภาพที่ 2 ลักษณะประจำพันธุ์ไก่พันธุ์คอร์นิช (Cornish)
ที่มา: สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพังงา (2558)

2.1.1.2.3 ไก่พันธุ์นิวแฮมเชียร์ (Newhampshire) ขนมีสีน้ำตาลอ่อน ผิวหนังสีเหลือง หงอนจักร (ดังภาพที่ 3) เป็นพันธุ์ที่ให้ไข่ดก และให้เนื้อคุณภาพดี มักนิยมใช้เป็นพันธุ์เริ่มต้นในการผลิตไก่กระทง โดยใช้ไก่พันธุ์นิวแฮมเชียร์เพศเมียผสมกับไก่เพศผู้ของไก่พันธุ์อื่น เนื่องจากเป็นไก่พันธุ์ที่ให้ไข่ดกและมีอัตราการฟักออกสูง (ประภากร, 2560)

ภาพที่ 3 ลักษณะประจำพันธุ์ไก่พันธุ์นิวแฮมเชียร์ (Newhampshire)
ที่มา: สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพังงา (2558)

2.1.1.2.4 ไก่พันธุ์ลูกผสม (Hybrid breed) เป็นไก่เนื้อที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ไก่เนื้อเพศผู้ (สายพ่อ) และสายพันธุ์ไก่เนื้อเพศเมีย (สายแม่) ตั้งแต่ 2 พันธุ์ขึ้นไป โดยไก่เนื้อลูกผสมที่ได้จะรวมลักษณะที่ดีที่ต้องการจากพ่อแม่พันธุ์ไว้ เช่น มีอัตราการเจริญเติบโตดีให้เนื้อมาก และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดี เป็นต้น ปัจจุบันไก่เนื้อที่เลี้ยงเพื่อการค้าในประเทศไทยเป็นไก่เนื้อลูกผสมทั้งหมด โดยมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดี เป็นต้น ปัจจุบันไก่เนื้อที่เลี้ยงเพื่อการค้าในประเทศไทยเป็นไก่เนื้อลูกผสมทั้งหมด โดยมีการสั่งพันธุ์ไก่จากต่างประเทศตั้งแต่ระดับปู่ย่า-ตายาย (Grand Parents Stock; GP) หรือระดับพ่อแม่พันธุ์ (Parents Stock; PS) ไก่เนื้อลูกผสมที่มีขายมีชื่อทางการค้ามากมายขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตไก่แต่ละพันธ์ เช่น พันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์ (Arbor Acres) พันธุ์รอส (Ross) พันธุ์คอบบ์ (Cobb) และพันธุ์ฮับบอร์ด (Hubbard) เป็นต้น (ประภากร, 2560)

2.1.2 โปรแกรมการเลี้ยงไก่กระทง

การเลี้ยงไก่กระทงควรใช้ระบบการเลี้ยงแบบเข้าออกพร้อมกันหมด (All in – all out) คือ ในโรงเรือนเดียวกันจะต้องเลี้ยงไก่อายุเท่ากันภายหลังจากที่จับไก่ออกหมดแล้วโรงเรือนจะมีเวลาว่าง ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้เลี้ยงจะทำความสะอาดโรงเรือนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สะอาดและทำการฆ่าเชื้อโรคทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ เช่น อุปกรณ์ให้น้ำ ให้อาหาร ผ้าม่าน ฯลฯ หลังจากทำความสะอาดโรงเรือนและอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจะมีการหยุดพักโรงเรือน (Down time) อย่างน้อย 14 วัน เพื่อตัดวงจรการติดต่อของโรคบางชนิด ระยะเวลาในการเลี้ยงไก่กระทงจะขึ้นอยู่กับขนาดของไก่ที่ตลาดต้องการซึ่งจะมีน้ำหนักตั้งแต่ 1.3-2.8 กก. ไก่ที่มีน้ำหนักตัวน้อยมักจะนำไปทำเป็นไก่ย่างหรือจำหน่ายเป็นไก่สดทั้งตัว ส่วนไก่ที่มีน้ำหนักตัวมากส่วนใหญ่จะนำไปขายเป็นไก่แยกชิ้นส่วนหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ระยะเวลาในการเลี้ยงจะอยู่ระหว่าง 28-60 วัน

การเตรียมพร้อมก่อนลูกไก่จะมาถึง

ก่อนจะนำลูกไก่เข้าเลี้ยงภายใต้กกในโรงเรือน จะต้องเตรียมทุกอย่างให้พร้อม เช่น ทดสอบเครื่องกกปรับตั้งอุณหภูมิ เพื่อใช้ในการกกอย่างเหมาะสมคือสัปดาห์ที่ 1 อุณหภูมิ 32 –34 ℃ สัปดาห์ที่ 2 30 – 32 ℃ และสัปดาห์ที่ 3 28 – 30 ℃ ก่อนที่ลูกไก่จะมาถึงควรเปิดกกความร้อนไว้ประมาณ 2 - 3 ชม. เพื่อให้ใต้กกอุ่นพอที่ลูกไก่จะได้รับบนวัสดุรองพื้น หากเป็นไปได้ควรปูด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ซ้อนกันประมาณ 7 - 10 ชั้น ให้เต็มพื้นที่กก เพื่อใช้โปรยอาหารเพื่อลูกไก่จะได้เห็นอาหารได้ง่ายขึ้นในวันแรกและหยิบกระดาษหนังสือพิมพ์ออกวันละ 1 ชิ้น เพื่อให้พื้นสะอาดอยู่ตลอดยิ่งดี นอกจากนั้นยังป้อนกันแกลบ เข้าปะปนกับอาหารและน้ำอีกด้วย

ปิดผ้าม่านด้านข้างรอบโรงเรือน เพื่อป้องกันลมโกรก เนื่องจากลูกไก่ระยะกกซึ่งยังเล็กอยู่จะไม่ชอบให้ลมพัดมาก กระทบถูกโดยตรง เพราะลูกไก่ระยะนี้ยังต้องการความร้อนความอุ่นนั้นเองม่านนอกจากจะป้องกันลม แล้วยังช่วยรักษาอุณหภูมิภายในกกลูกไก่นั้นให้คงที่อีกด้วย และจะค่อย ๆเปิด

ม่านขึ้นเพื่อให้อากาศถ่ายเทเมื่ออากาศร้อนและเปิดเมื่ออายุของลูกไก่มากขึ้น เมื่อพ้นระยะกก (3 สัปดาห์) ทำการเก็บผ้าม่านออกไม่มีความจำเป็นต้องปิดอีกต่อไป

การปฏิบัติเมื่อลูกไก่มาถึงฟาร์ม

การปล่อยให้ลูกไก่อยู่ในกล่องขนส่งลูกไก่นาน ๆ อาจทำให้มีความร้อนสะสมในกล่องซึ่งจะทำให้ลูกไก่แสดงอาการขาดน้ำ (Dehydration) หรือเกิดความเครียดจากความร้อนได้ซึ่งจะส่งผลต่อไปทำให้ระบบการสร้างภูมิคุ้มด้อยลง ดังนั้น เมื่อลูกไก่มาถึงฟาร์มจึงควรจะปล่อยลงกกให้เร็วที่สุดแต่ต้องกระทำด้วยความนุ่มนวล ไม่ควรโยนหรือเทลูกไก่ออกจากกล่องสูงเกินไปเพราะอาจทำให้ลูกไก่บอบช้ำได้

การกกลูกไก่ที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ไก่กระทงมีอัตราการตายเนื่องจากโรคท้องมานสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิต่ำจะกระตุ้นให้ไก่จะกินอาหารเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้องการก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น การเพิ่มความต้องการก๊าซออกซิเจนและการเพิ่มขบวนการเมตาบอลิซึมจากอาหารที่กินเข้าไปเพื่อรักษาอุณหภูมิร่างกายให้อบอุ่นส่งผลให้หัวใจและปอดทำงานหนักขึ้นจึงมีโอกาสเกิดโรคท้องมานมากขึ้น

การเลี้ยงไก่กระทงในโรงเรือนระบบ Evaporative cooling system เราสามารถแบ่งพื้นที่บางส่วนภายในโรงเรือนเพื่อใช้สำหรับกกลูกไก่ได้ โดยการใช้ผ้าม่านกั้นแบ่งเป็นห้องโดยใช้พื้นที่ประมาณ 2 ใน 3 ของโรงเรือนเพื่อกกลูกไก่ในช่วงแรก จากนั้นจึงขยายพื้นที่ให้ไก่กระจายไปทั่วทั้งโรงเรือนเมื่อลูกไก่อายุได้ประมาณ 7-10 วัน ในช่วงฤดูร้อน หรือประมาณ 10-14 วันในช่วงฤดูหนาว

การสังเกต หลังจากให้อาหารแต่ละมื้อควรสังเกตลูกไก่ ภายในกกทุกตัวว่าเป็นอย่างไร โดยทั่วไปลูกไก่ที่สุขภาพแข็งแรง หลังจากให้อาหารความสนใจของลูกไก่จะอยู่ที่อาหาร แย่งกันกินอาหารอย่างเพลิดเพลินทุกตัว หากการให้อาหารมื้อใด ลูกไก่บางตัวหรือส่วนใหญ่ไม่ค่อยสนใจอาหารที่ให้ใหม่ แสดงถึงความผิดปกติเกิดขึ้นกับลูกไก่ฝูงดังกล่าวต้องรีบ ค้นหาสาเหตุ และรีบแก้ไขทันที

สังเกตการณ์กินน้ำ โดยทั่ว ๆ ไปการกินน้ำของไก่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามลำดับ ยกเว้นสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เช่น หนาว หรือร้อน ผิดปกติ การกินน้ำจะน้อยหรือมากตามสภาวะกาลนั้น ๆ หากพบว่าสภาพอากาศปกติ แต่การกินน้ำของไก่ลดลงลูกไก่ไม่ค่อยกระปรี้กระเปร่า ซึ่งเป็นอาการเริ่มต้นของลูกไก่ที่จะแสดงอาการป่วยให้เห็นใน วัน เวลาถัดมา เมื่อสังเกตพบการกินน้ำน้อยลงผิดปกติ จึงควรรีบแก้ไขก่อนจะเกิดผลเสียหาย

การสังเกตทั่วๆไป เช่น สภาพกกร้อนเกินไป, หนาวเกินไป, จำนวนไก่แน่นเกินไป, จำนวนที่ใส่น้ำ, ใส่อาหารเพียงพอ หรือไม่, ลักษณะของอุจจาระ, วัสดุรองพื้น ชื้นเกินไป แห้งเกินไปหรือไม่ หากพบปัญหาใดก็ตามที่เกิดขึ้นต้องรีบแก้ไขทันทีทันใด เพื่อลดสภาวะเครียดของลูกไก่ได้ทันท่วงที จะได้ไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย (ประภากร, 2560)

2.1.3 โรงเรือนไก่กระทง

ขนาดของตัวโรงเรือนขึ้นอยู่กับจำนวนไก่ที่จะเลี้ยง ควรใช้พื้นซีเมนต์ เพราะจะต้องรื้อขนวัสดุรองพื้นเล้าออกบ่อยๆ ควรมีที่กันลมในระยะที่ไก่อายุยังน้อย ไก่กระทงนั้นเนื่องจากเลี้ยงเพียง 5-8 อาทิตย์ ฉะนั้นถือเกณฑ์ 1วันถึง 8 อาทิตย์ ด้วยขนาดพื้นที่ตารางฟุตละหนึ่งตัวหรือตารางเมตรละ 9 ตัวก็ได้ ขนาดของพื้นคอกไก่ดังกล่าวมานี้เป็นเพียงเกณฑ์กลางทั่วไป ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับ

- จำนวนไก่
- ชนิดของพื้นคอก พื้นคอกแบบนี้จุไก่กระทงหรือไก่เนื้อได้ถึงตารางเมตรละ 15-16 ตัว
- อายุและชนิดของไก่
- อุณหภูมิขิงอากาศ ถ้าอากาศร้อน ไก่อาจจิกกันมาก กินอาหารลดลง
- การระบายอากาศและความชื้น การใส่ไก่จำนวนมากเกินไปต่อความจุปกติของคอกจะเป็นต้นเหตุของโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกโรคหวัด โรคหลอดลมอักเสบ สุขภาพไก่ย่อมเลวลงการเติบโตช้าลง การใช้พัดลมช่วยระบายอากาศในคอกไก่ก็เป็นทางหนึ่งที่อาจช่วยให้สุขภาพไก่ดีขึ้น แต่ไม่ใช่วิธีที่ประหยัดถูกต้องนักสำหรับการเลี้ยงไก่ในเมืองเรา (ประภากร, 2560)

2.1.4 อาหารไก่

อาหารคุณภาพดีเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของความสำเร็จในการเลี้ยงไก่ ความมุ่งหมายอันดับแรกของอาหารก็คือ ให้ไก่เปลี่ยนอาหารเหล่านี้ไปเป็นเนื้อและไข่ให้ได้ผลสูงที่สุด ปัจจุบันวิทยาศาสตร์แขนงอาหารไก่ ก้าวหน้ามาก ทำให้อาหารไก่มีคุณภาพสูงกว่าสมัยก่อน ไก่กระทงสมัยนี้เติบโตเร็ว มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าสมัยก่อนมาก ไม่ใช่เพราะพันธุ์และการจัดการเท่านั้น ยังเป็นเพราะคุณภาพของอาหารสมัยนี้มีส่วนช่วยอย่างมากนั้นเอง ร่างกายไก่ต้องการอาหารไปสร้างความเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ ของโครงกระดูกของอวัยวะต่างๆ ตลอดจนสร้างเป็นโลหิต น้ำเหลือง เนื้อ ไข่ ขน เล็บ น้ำย่อยและฮอร์โมนต่างๆ เพื่อซ่อมแซมส่วนของร่างกายที่ชำรุดทรุดโทรม ช่วยให้ระบบต่างๆของร่างกายทำงานได้โดยปกติ เช่น ระบบไหลเวียน ระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ ตลอดจนระบบสืบพันธุ์ นอกจากนี้ ร่างกายยังต้องการพลังงานจากอาหารไปใช้ในการเคลื่อนไหว การเต้นของหัวใจ การหายใจ ตลอดจนให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย ให้มีชีวิตเป็นไปโดยปกติ

สิ่งที่ประกอบขึ้นเป็นตัวไก่และไข่ล้วนเปลี่ยนแปลงมาจากอาหารที่ไก่กินเข้าไปทั้งสิ้น อาจเปรียบได้ว่า ตัวไก่ คือ โรงงานเปลี่ยนอาหารให้เป็นส่วนประกอบของร่างกาย เช่น เนื้อและไข่ อาหารที่ไก่กินเข้าไปไม่ว่ารำ ปลายข้าว ข้าวโพด กากรำต่างๆ ปลาจืด เปลือกหอย ฯลฯ จะผ่านเข้าไปในโรงงานหรือตัวไก่ แล้วก็ถูกเปลี่ยนเป็นส่วนประกอบของร่างกาย เช่น เนื้อกับไข่ การเปลี่ยนแปลงนี้จะได้ผลมากน้อยเพียงใดย่อมขึ้นอยู่กับ คุณภาพของไก่หรือพันธุ์ไก่ สุขภาพของไก่ วัตถุดิบที่ใช้เป็นอาหาร ตลอดจนสัดส่วนอาหารผสม และการเลี้ยงดู คอก เรือนไก่ ฯลฯ

ตามธรรมดาอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่นั้นจะสิ้นเปลืองมากน้อยเพียงใดนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับจำนวนไก่แล้ว ยังย่อมแล้วแต่อายุ เพศ พันธุ์ อัตราเติบโต จำนวนโปรตีน และจำนวนแคลลอรี่ในอาหาร ตลอดจนสิ่งแวดล้อมหรือสาเหตุอื่นๆ อีก เช่น ความใหม่สดของอาหาร ฤดูกาล แสงสว่าง ฯลฯ

การให้อาหารไก่กระทงจะแบ่งอาหารตามระยะการเจริญเติบโตของไก่ ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ไก่เล็ก (Starter) ไก่รุ่น (Grower) และไก่ใหญ่ (Finisher) แต่โปรแกรมการให้อาหารหรือสูตรอาหารจะแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่

- อาหารไก่เล็ก (Starter diet) ใช้เลี้ยงไก่กระทงช่วงอายุ 1-18 วัน
- อาหารไก่รุ่น (Grower diet) ใช้เลี้ยงไก่กระทงช่วงอายุ 19-30 วัน
- อาหารไก่ใหญ่ (Finisher diet) ใช้เลี้ยงไก่กระทงช่วงอายุ 31 วันขึ้นไป หรือช่วงอายุ 31-35 วัน
- อาหารก่อนส่งตลาด (Withdrawal diet) ใช้เลี้ยงไก่ในช่วงระยะ 5-7 วันก่อนจับส่งโรงชำแหละ หรือก่อนจับขาย เนื่องจากในการเลี้ยงไก่กระทงนั้นมักจะมีการเสริมยาปฏิชีวนะหรือยาป้องกันโรคบิดลงไปในอาหารเพื่อควบคุมโรคติดต่อ และยาในกลุ่มนี้บางชนิดอาจจะมีผลตกค้างอยู่ในเนื้อไก่ได้อย่างไรก็ตามยาปฏิชีวนะที่ใช้ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่กระทงนั้นจะสามารถขับออกจากร่างกายได้หมดภายในระยะเวลา 3-5 วัน ดังนั้น ก่อนที่จะจับไก่ส่งโรงชำแหละหรือจับขายจึงจำเป็นจะต้องให้อาหารที่ปราศจากยาปฏิชีวนะให้ไก่กระทงกิน บางครั้ง นักโภชนศาสตร์จะปรับลดโภชนะหรือวัตถุดิบบางอย่างที่ไม่ค่อยจำเป็นออกจากสูตรอาหารเพื่อลดต้นทุนค่าอาหาร เช่น ลดปริมาณของวิตามินลง แต่อาจจะเพิ่มกรดอะมิโนและแร่ธาตุบางชนิดเข้าไปเพื่อกระตุ้นให้สร้างกล้ามเนื้อมากขึ้น

รูปแบบของอาหาร (Feed form) สำหรับไก่กระทงนั้นนิยมให้อาหารแบบอัดเม็ด (Pellet) แต่ในช่วงที่ไก่ยังเล็กอยู่ หรือในช่วง 2 สัปดาห์แรกมักจะให้อาหารแบบเม็ดบี้แตก หรืออาหารเกล็ด (Crumble) เพื่อให้ลูกไก่สามารถจิกกินอาหารได้สะดวกขึ้น เมื่อไก่อายุมากขึ้นก็สามารถใช้อาหารอัดเม็ดขนาดใหญ่ขึ้นได้ อาหารสำหรับไก่กระทงระยะไก่รุ่นจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.0-3.5 มิลลิเมตร และอาหารไก่ใหญ่และอาหารก่อนส่งตลาดจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5 มิลลิเมตร การอัดเม็ดอาหารจะทำให้ไก่กินอาหารได้มากขึ้น อัตราการไหลผ่านของอาหารในระบบทางเดินอาหารช้าลง นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ดนั้นจะเกิดความร้อนขึ้นทำให้สามารถฆ่าเชื้อบางชนิดที่อาจจะก่อโรคได้โดยเฉพาะเชื้อ *Salmonella spp.* นอกจากนี้ความร้อนจากการอัดเม็ดยังทำให้วัตถุดิบบางชนิดสุก ทำให้สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมได้ดีขึ้น

ค่าอาหารเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในการเลี้ยงไก่กระทงคือ ประมาณ 80% ของค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงไก่กระทงแต่ละรุ่นจะเป็นค่าอาหาร การเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่กระทงจะสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กินมากที่สุด ดังนั้น การวัดประสิทธิภาพการเลี้ยงและค่าตอบแทนทางเศรษฐกิจจึงมักจะมีการวัดค่าออกมาเป็นค่าอัตราการเปลี่ยนอาหาร (Feed conversion ratio, FCR) ซึ่งคำนวณได้โดยใช้

ค่าของน้ำหนักอาหารที่ไก่กินเข้าไปในแต่ละช่วงอายุหารด้วยน้ำหนักตัวไก่ที่เพิ่มขึ้นในช่วงอายุนั้น ๆ ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารหรือ FCR ที่ได้นี้ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี คือ ใช้อาหารในปริมาณน้อยก็สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวไก่ได้มากหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ใช้อาหารที่มีราคาต่าง ๆในปริมาณน้อยเปลี่ยนไปเป็นเนื้อไก่ที่มีราคาสูงได้มากนั่นเอง ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารจะเป็นดัชนีบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเลี้ยงและการจัดการไก่กระทงในแต่ละฝูงได้ใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของสูตรอาหาร สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนรูปแบบของโรงเรือน และประสิทธิภาพของการจัดการด้านต่าง ๆ ได้ (ประภากร, 2560)

2.1.4.1 อาหารดำรงชีวิต

ประโยชน์ของอาหารที่ไก่กินเข้าไป อันดับแรกจะเอาไปใช้บำรุงรักษาการทำงานของอวัยวะต่างๆให้เป็นไปโดยปกติ อันดับต่อไปก็สร้างความอบอุ่นของร่างกายและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของอวัยวะต่างๆ อาหารที่เหลือจากนี้จึงเอาไปสร้างความเจริญเติบโต สร้างไข่ทำให้อ้วนหรือใช้ประโยชน์ทางการสืบพันธุ์ตามปกติอาหารที่ไก่กินก็หาได้มีประโยชน์ทางดำรงชีวิตอย่างเดียวไม่ ยังมีประโยชน์ที่สองตามมาด้วย เช่นให้เติบโต หรือใช้ทางสืบพันธุ์ด้วย ไก่ตัวผู้นอกฤดูผสมพันธุ์เท่านั้นที่จะใช้แต่อาหารชนิดดำรงชีวิต กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ อาหารดำรงชีพนี้ใช้เพียงระยะสั้นๆในเวลานอกฤดูผสมพันธุ์ของตัวผู้

พลังงานที่ได้จากอาหารจะถูกเอาไปใช้ในการเคลื่อนไหวของร่างกาย การสูบฉีดโลหิตของหัวใจการหายใจ และการย่อยอาหาร ถ้าไก่กินอาหารไม่พอ ร่างกายจะใช้จากทิชชิวของส่วนต่างๆของร่างกาย ถ้านานวันเข้าไก่ก็จะผอมอ่อนแรงลง ความต้องการอาหารมากน้อยของไก่ยังขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร เพศ อายุ การเคลื่อนไหวของร่างกายและฤดูกาล

จำนวนโปรตีนในอาหารดำรงชีพย่อมขึ้นอยู่กับอายุและเพศของไก่ ไก่ตัวผู้ต้องการอาหารโปรตีนมากกว่าของตัวเมียเล็กน้อย ไก่อายุน้อยต้องการโปรตีนมากกว่าไก่อายุมากหรือไก่แก่ อาหาร ไวตามิน และเกลือแร่ต่างๆ ในอาหารที่ใช้เพียงเพื่อดำรงชีพนี้ ไก่ต้องการน้อยมาก ในอาหารธรรมดาก็มีไวตามินและเกลือแร่พอเพียงอยู่บ้างแล้ว แต่ก็ต้องหาเติมลงบ้างแม้จะไม่เท่ากับอาหารสำหรับการเจริญเติบโตหรืออาหารไก่ไข่ก็ตาม พวกไวตามินบีรวมก็ยังเป็นสิ่งจำเป็นต่ออาหารประเภทนี้อยู่และควรหาเพิ่มเติมลงไปอีก ไก่ที่ได้อาหารที่มีโปรตีนกับพลังงานพอเพียงก็ควรได้รับเกลือแร่พอด้วย (ประภากร, 2560)

2.1.4.2 อาหารสำหรับการเจริญเติบโต

ลูกไก่และไก่รุ่นเป็นระยะเติบโต ความเติบโตระยะแรกที่ลูกไก่ออกใหม่ๆ ลูกไก่ได้อาหารจากไข่แดงในท้อง ไข่แดงให้พลังงานและสร้างความเจริญเติบโตของอวัยวะต่างๆเช่น ให้ไก่เคลื่อนไหวได้ตามต้องการในระยะต่อมา ร่างกายต้องการอาหารเจริญเติบโตทางขนาดหรือน้ำหนักและรูปร่าง อัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะนี้เป็นต้นไปขึ้นอยู่กับ

1. ลักษณะทางพันธุกรรมที่ได้ถ่ายทอดมาจากพ่อแม่และบรรพบุรุษ
2. ชนิดคุณภาพและปริมาณของอาหารที่กินเข้าไป
3. สิ่งแวดล้อมที่ไก่อยู่

อัตราการเจริญเติบโตของลูกไก่ที่มีพันธุกรรมดี อาหารดี และสิ่งแวดล้อมดี จะมีน้ำหนักร่างกายเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าภายในไม่ถึง 2 อาทิตย์ และเพิ่มเป็น 10-30 เท่าตัวเมื่อ 6 อาทิตย์เท่านั้น อาหารระยะเติบโตนี้ นอกจากต้องการโปรตีนที่คุณภาพดี มีแร่ธาตุที่สำคัญพอเพียงยังต้องมีพลังงานใช้ประโยชน์อีกไม่น้อยกว่า 3,000 กิโลแคลอรี่ต่ออาหารหนึ่งกิโลกรัม ปริมาณพลังงานกับเปอร์เซ็นต์โปรตีนเกี่ยวข้องโดยตรงกับอัตราการเจริญเติบโตของร่างกาย ไก่กินอาหารจนได้พลังงานพอก็หยุดกินต่อไปจนกว่าร่างกายจะต้องการอีก ถ้าในอาหารมีโปรตีนต่ำ แต่พลังงานสูง ไก่กินอิ่มได้พลังงานแล้ว แต่ก็ยังไม่ได้โปรตีนพอเพียงที่จะไปสร้างร่างกาย ความเจริญเติบโตของร่างกายย่อมช้าลง ฉะนั้น อาหารไก่ในระยะเติบโตนี้ ถ้าจะให้ได้ผลดีต้องให้มีพลังงานและโปรตีนสูงอย่างมีสัดส่วนที่เหมาะสม ไก่ที่กำลังเติบโต ได้แก่ ลูกไก่ ไก่รุ่น ไก่กระทง ไก่ระยะนี้ต้องการอาหารที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 20 % สำหรับพวกที่จะเลี้ยงเป็นไก่ไข่ แต่ถ้าเลี้ยงเป็นไก่กระทง เราต้องการให้ไก่นั้นโตเร็วที่สุดเพื่อส่งตลาดได้เร็วและประหยัดเวลา จึงจำเป็นจะต้องใช้อาหารที่มีโปรตีนอย่างดีถึง 24% ตามธรรมดาไก่ในระยะอายุ 3 วันแรก ถึง 2 อาทิตย์แรก อาจเลี้ยงด้วยอาหารพิเศษระยะแรก (prestarter) หรืออาหารไก่เล็ก (Starter diet) มีโปรตีน 20-24% และมีพลังงานใช้ประโยชน์ประมาณ 2,750-3,000 กิโลแคลอรี่ ต่อ 1 กก. อาหาร โดยถือเกณฑ์จากทุกๆ หนึ่งเปอร์เซ็นต์โปรตีนจะต้องมีพลังงานใช้ประโยชน์ 130-140 กิโลแคลอรี่ และควรมีกรดอะมิโนสำคัญๆต่างๆ

ตามธรรมดาไก่ระยะเหล่านี้จะกินมากน้อยย่อมแล้วแต่ อายุ เพศ พันธุ์ อัตราการเติบโต ปริมาณพลังงานและโปรตีนในอาหาร อุณหภูมิของอากาศ และยังอาจมีสาเหตุอื่นๆอีก ประสิทธิภาพของอาหารจะดีหรือไม่ย่อมขึ้นอยู่แก่คุณภาพอาหาร ตัวไก่เอง ตลอดจนความละเอียดถี่ถ้วนในการเลี้ยงดูไก่ ไก่ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน ไวตามิน และเกลือแร่ที่มีคุณภาพดี ปริมาณมากพอย่อมได้รับพลังงานจากอาหารอย่างสมบูรณ์ แต่อาจไม่ถูกหลักเศรษฐกิจ เพราะค่าอาหารแพงมาก ด้วยเหตุนี้จึงเป็นงานสำคัญตลอดเวลาของนักวิทยาศาสตร์สาขาอาหารไก่หรือโภชนาการของสัตว์ปีกที่จะต้องวิจัยค้นคว้าสร้างสูตรอาหารที่มีคุณภาพสูงแต่ราคาถูกกว่า เพื่อความเจริญของอาชีพเลี้ยงไก่

ความต้องการโภชนะของสัตว์ปีก หมายถึง ความต้องการโภชนะต่างๆ ในปริมาณขั้นต่ำ(Minimum requirement) สำหรับการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพในการใช้อาหาร การให้ไข่และการฟักออกดีที่สุด (ประภากร, 2560)

2.1.4.2.1 ความต้องการพลังงาน (Energy requirement) ความต้องการพลังงานในสัตว์ปีกจะแสดงในหน่วยของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ทั้งนี้เพราะสัตว์ปีกจะมีการขับถ่ายมูลและปัสสาวะออกมารวมกัน ในการคำนวณหาความต้องการพลังงานจึงไม่

สามารถแยกพลังงานที่มีในมูลและปัสสาวะ จึงทำให้ต้องคิดรวมในรูปของพลังงานใช้ประโยชน์ได้สัตว์ปีกที่กินอาหารที่มีพลังงานต่ำ จะกินอาหารในปริมาณมากกว่าอาหารที่มีพลังงานสูง เพื่อให้ได้พลังงานเท่ากัน นอกจากนี้ความต้องการพลังงานของสัตว์ปีกแต่ละวันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient temperature) กล่าวคือ ในฤดูร้อน สัตว์ปีกจะกินอาหารในปริมาณน้อยกว่าในฤดูหนาว ทำให้ได้รับพลังงานน้อยกว่าในฤดูหนาว จึงจำเป็นต้องให้อาหารสูตรที่มีพลังงานเข้มข้นและมีความหนาแน่นสูง วัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มพลังงานที่นิยมใช้ในสูตรอาหารสัตว์ได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง รำละเอียดและปลายข้าว เป็นต้น ส่วนไขมันจะเติมลงในสูตรอาหารที่ระดับ 3-8% เพื่อเพิ่มระดับพลังงาน (ประภากร, 2560)

2.1.4.2.2 ความต้องการโปรตีน (Protein requirement) ความต้องการโปรตีนของสัตว์ปีกเป็นความต้องการขั้นต่ำ (Minimum requirement) ของกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) กับไนโตรเจนในปริมาณที่มากพอสำหรับให้สัตว์ปีกสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) เพียงพอตามความต้องการของสัตว์ปีก ในปัจจุบันสัตว์ปีกมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมาก จึงทำให้ความต้องการกรดอะมิโนมีความสำคัญมากตามไปด้วย เช่น กรดอะมิโนเมทไธโอนีน (Methionine) และกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) สัตว์ปีกจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร เนื่องจากสัตว์ปีกไม่สามารถใช้กรดอะมิโนอื่นแทนเหมือนกับกรดอะมิโนซีสทีน (Cystine) ซึ่งสามารถใช้กรดอะมิโนเมทไธโอนีน (Methionine) แทนได้กรดอะมิโนไทโรซีน (Tyrosine) ก็ใช้กรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) แทนได้นอกจากนั้นกรดอะมิโนไกลซีน (Glycine) และกรดอะมิโนเซอรีน (Serine) ยังเป็นกรดอะมิโนที่ใช้แทนกันได้อีกด้วย แหล่งโปรตีนที่สำคัญและมีคุณภาพดีที่ใช้ในสูตรอาหารสัตว์ปีก คือ กากถั่วเหลืองและปลาป่น ตลอดจนกรดอะมิโนเมทไธโอนีนสังเคราะห์ ซึ่งมีอยู่หลายลักษณะ เช่น ดีแอล-เมทไธโอนีน (DL-methionine) หรือเมทไทโอนีน ไฮดรอกซีอะนาลอค (Methionine hydroxyl analog) ซึ่งนิยมนำมาเสริมในอาหารสัตว์อีกด้วย

เมทไธโอนีนจัดเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญเป็นลำดับที่หนึ่ง (First-limiting amino acid) ซึ่งเมทไธโอนีนมีหน้าที่หลายอย่าง ได้แก่ เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนเป็นสารให้หมู่เมธิลและเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ซีสติอีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่สำคัญ ในการผลิตขนไก่ดังนั้นเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่ต้องมีในอาหารสัตว์ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้หรือสังเคราะห์ได้แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ปีก

แต่อย่างไรก็ตามพบว่าวัตถุดิบหลักในอาหารสัตว์ปีก เช่น ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองมีปริมาณเมทไธโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ปีก ซึ่งโดยทั่วไปจะพบ 2 รูปแบบ คือชนิดผงหรือ ดีแอล-เมทไธโอนีน (DLM) และชนิดน้ำ Methionine hydroxy analog (MHA) ซึ่งมีสูตรทาง

เคมีคือ 2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เมทไธโอนีน ซึ่งต่างจาก DLM ตรงที่ MHA จะมีหมู่ไฮดรอกซี่ (-OH) ตรงคาร์บอนตำแหน่งอัลฟา ส่วน DLM จะมีหมู่กรดอะมิโน (-NH2) ในระหว่างที่ MHA เข้าไปในตับ จะพบว่าจะมีหมู่อะมิโนเข้าไปจับกับโมเลกุลของ MHA ทำให้เปลี่ยนไปเป็นแอล-เมทไธโอนีน ซึ่งเป็นรูปที่สัตว์สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งสัตว์ปีกจะมีการดูดซึม MHA และ DLM ที่แตกต่างกัน โดยการดูดซึมของ MHA จะเกิดขึ้นทุกส่วนของลำไส้เล็ก โดยเฉพาะลำไส้เล็กส่วนต้น (ดูโอดีนัม) และลำไส้เล็กส่วนกลาง (เจจูนัม) ในส่วนของ DLM โดยมากจะถูกดูดซึมบริเวณของลำไส้เล็กส่วนปลาย (ไอเลียม) และที่สำคัญ MHA จะมีการดูดซึมแบบ Passive คือจะไม่ใช้พลังงานแต่ DLM จะมีการดูดซึมแบบ Active transport คือต้องอาศัยตัวขนส่งเพื่อจะข้ามเยื่อหุ้มเซลล์และต้องการพลังงานซึ่งจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น จากการศึกษาเรื่องผลการเสริม Methonine hydroxyl analog ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากไก่กระทง ผลการศึกษาพบว่าไก่กระทงที่ได้รับการเสริม Methonine hydroxyl analog (MHA) และ DLmethionine (DLM) มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่าไก่กระทงกลุ่มที่ขาดกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ในขณะที่อัตราการกินเฉลี่ยและอัตราการตายในไก่กระทงทุกกลุ่มนั้นไม่พบความแตกต่างกันและในส่วนที่ศึกษาด้านคุณภาพซากพบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนนั้นจะช่วยในการพัฒนาคุณภาพให้ดีขึ้นโดยเฉพาะในส่วนของเนื้อหน้าอก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าทั้ง DLM และ MHA สามารถใช้เป็นแหล่งของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในไก่กระทงและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตรวมถึงคุณภาพซากได้ (ประภากร, 2560)

2.1.4.2.3 ความต้องการไวตามิน (Vitamins requirement) โดยทั่วไปในอาหารสัตว์ปีกจะมีไวตามินในปริมาณที่มากกว่าความต้องการขั้นต่ำ (Minimum requirement) ทั้งนี้เพื่อเผื่อไว้สำหรับไวตามินที่อาจสูญเสีย (Safety margins) ในระหว่างการผสมอาหารสัตว์ (Feed processing) ในระหว่างการขนส่งอาหารสัตว์ (Transportation) และในระหว่างการเก็บอาหารสัตว์ (Storage) ปริมาณการสูญเสียไวตามินในระยะต่างๆ ของไวตามินแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน ไวตามินที่ละลายในไขมัน (Fat-soluble vitamins) จะสูญเสียในอัตราสูงกว่าไวตามินชนิดที่ละลายในน้ำ (Watersoluble vitamins) เช่น ไวตามินเอจะสูญเสียในอัตราที่สูงกว่าไวตามินบีดังนั้นปริมาณของไวตามินที่ให้เกินกว่าความต้องการขั้นต่ำจึงแตกต่างกัน กล่าวคือ ไวตามินเอให้เผื่อไว้ประมาณ 66% ในขณะที่ไวตามินบีให้เผื่อไว้ 50% อย่างไรก็ดีในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตไวตามินสามารถผลิตไวตามินที่มีความคงทน (Stable) ต่อการสูญเสีย นอกจากนี้ไวตามินบางชนิด เช่น ไวตามินซีสัตว์ปีกสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้แต่การให้ไวตามินซีเพิ่มในอาหารสัตว์ปีก จะช่วยให้ไก่ให้ผลผลิตไข่ดีขึ้นและช่วยลดอาการเครียด สัตว์ปีกมีระบบการย่อยอาหารแบบสัตว์กระเพาะเดี่ยวและมีท่อทางเดินอาหารสั้น ทำให้อาหารเคลื่อนตัวในระบบทางเดินอาหารเร็ว จึงทำให้จุลินทรีย์ในลำไส้สามารถผลิตไวตามินบีรวมขึ้นมาได้น้อย อีกทั้งสัตว์ปีกใช้ไวตามินดี 2 ไม่ได้จึงต้องเสริมในรูปของไวตามินดี 3 แทน ไวตามินดีใน

สัตว์ปีกมีหน่วยแสดงเป็น International Chick Unit (ICU) โดย 1 ICU มีค่าเท่ากับ 0.025 มิลลิกรัม ของไวตามินดี 3 อาหารที่มีการใช้ ไขมันมากก็ต้องใส่ไวตามินอีเพิ่มขึ้น เพื่อป้องกันการเหม็นหืน ไวตามินเคจำเป็นต้องเสริมในอาหารสัตว์ปีก เพราะในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีกไม่มีจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ไวตามินเคได้การเสริมไวตามินเคจะเสริมในรูปของ Menadione (Water soluble vitamin K) และความต้องการไวตามินจะมีมากในสัตว์ปีกพ่อ-แม่พันธุ์เพราะไข่พันธุ์ที่ต้องนำไปฟักต้องการให้ได้ลูกสัตว์ปีกที่มีความแข็งแรงและอัตราการตายต่ำ (ประภากร, 2560)

2.1.4.2.4 ความต้องการแร่ธาตุ (Minerals requirement) โดยทั่วไปในอาหารสัตว์ปีกจะมีแร่ธาตุในปริมาณที่มากกว่าความต้องการขั้นต่ำ (Minimum requirement) สัตว์ปีกต้องการแร่ธาตุในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่สัตว์ปีกต้องการในปริมาณที่เหมาะสม เพราะถ้าแร่ธาตุชนิดหนึ่งมากเกินไป ก็จะทำให้แร่ธาตุอีกชนิดหนึ่งขาด ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายได้เช่น ปริมาณของแร่ธาตุแคลเซียม (Calcium) กับแร่ธาตุแมงกานีส (Manganese) แร่ธาตุแคลเซียม (Calcium) กับแร่ธาตุสังกะสี (Zinc) แร่ธาตุซิลีเนียม (Selenium) กับแร่ธาตุเมอร์คิวรี่ (Murcury) และแร่ธาตุโมลิดินั่ม (Molidinum) กับแร่ธาตุทองแดง (Copper) เป็นต้น

ในปัจจุบันไก่กระทงที่เลี้ยงในปัจจุบันมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมาก อีกทั้งมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 0-35 วัน ของระยะเวลาการเลี้ยงตามปกติดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการปรับระยะการเปลี่ยนอาหารไก่เนื้อเป็น 3 ระยะ ได้แก่ อายุ 0-10 วัน อายุ 11-24 วันและอายุตั้งแต่ 25 วัน เป็นต้นไป (ประภากร, 2560)

2.1.5 การทำวัคซีนไก่

จุดประสงค์ของการทำวัคซีน คือ เพื่อป้องกันและควบคุมโรคระบาดที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคที่ไม่สามารถทำการรักษาได้หรือโรคที่ยากต่อการรักษา ทำให้ไก่สร้างภูมิคุ้มกันเกิดขึ้นในร่างกาย การทำวัคซีนเป็นการเพิ่มความเครียดให้ไก่ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ดังนั้น จึงต้องเข้มงวดในขั้นตอนการทำวัคซีน โดยต้อนไก่ครั้งละน้อย ๆ จับไก่ด้วยความระมัดระวัง และทำวัคซีนด้วยความนุ่มนวล ถ้าไม่ระมัดระวังมีผลทำให้ไก่เกิดความเครียดเพิ่มขึ้นและไก่แพ้วัคซีนมากขึ้น (ประภากร, 2560)

2.1.5.1 ชนิดของวัคซีน

วัคซีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากส่วนของเชื้อโรคหรือเชื้อที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งเมื่อฉีดเข้าร่างกายสัตว์ก็สามารถทำให้สัตว์สร้างภูมิคุ้มกันโรคได้ และภูมิคุ้มกันโรคนั้นสามารถที่จะป้องกันสัตว์ไม่ให้ป่วยเป็นโรคนั้น ชนิดของวัคซีนแบ่งออกได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. วัคซีนเชื้อเป็น เป็นวัคซีนที่เตรียมจากเชื้อที่มีความรุนแรงแต่ถูกทำให้อ่อนแอลง หรือถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นจุลชีพที่ไม่มีความรุนแรง ซึ่งไม่สามารถทำให้เกิดโรคได้ จุลชีพเหล่านี้สามารถแบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เมื่อเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดความเครียดหรือเกิดอาการแพ้วัคซีน วัคซีน

เชื้อเป็นสามารถให้ไก่ได้ทีละตัว โดยการหยอดตาหรือหยอดจมูก หรือให้ไก่เป็นกลุ่มโดยการละลายในน้ำดื่ม หรือการสเปรย์ ทำให้ประหยัดแรงงาน วัคซีนเชื้อเป็นสามารถถูกทำลายได้ง่ายโดยภูมิคุ้มกันที่ถ่ายทอดมาจากแม่แต่ ให้ความคุ้มโรคสูง อาจทำให้สัตว์เกิดโรคได้ แต่การเก็บรักษายุ่งยากกว่าวัคซีนเชื้อตาย และมีราคาถูก

2. วัคซีนเชื้อตาย (killed vaccine) เป็นวัคซีนที่เตรียมจากเชื้อโรคทั้งตัว (whole cell) ที่ถูกทำให้ตายโดยทางเคมีหรือฟิสิกส์ จุลชีพเหล่านี้ไม่สามารถแบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เมื่อเข้าสู่ร่างกาย จึงมีความปลอดภัย แต่ให้ความคุ้มโรคต่ำ วัคซีนเชื้อตายจะให้โดยวิธีการฉีดเท่านั้น สารที่ใช้ผสมกับวัคซีนจะเป็นน้ำมันหรืออลูมินั่มไฮดร็อกไซด์ สามารถกระตุ้นให้เกิดภูมิคุ้มกันได้ดี วัคซีนเชื้อตายมีราคาแพงแต่เก็บรักษาง่าย (สถาบันวัคซีนแห่งชาติ, 2564)

2.1.5.2 วิธีการทำวัคซีน

การทำวัคซีนไก่สามารถทำได้หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัคซีนที่ใช้และชนิดของโรค

1. การหยอดตาหรือหยอดจมูก เป็นการสร้างภูมิคุ้มกันเฉพาะที่ เพื่อป้องกันโรคที่เกิดขึ้นกับระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคนิวคาสเซิล และหลอดลมอักเสบ โดยละลายวัคซีนในน้ำยาละลายวัคซีน (น้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้อง) การใช้น้ำเย็นจัดอาจทำให้เยื่อบุอักเสบ ขวดที่ใช้หยอดวัคซีนควรเป็นขวดมาตรฐาน เพื่อให้ลูกไก่ได้รับวัคซีนครบโด๊ส การหยอดตาให้หยอดวัคซีน 1-2 หยดต่อไก่ 1 ตัว ตำแหน่งที่จะหยอดวัคซีนก็คือที่บริเวณมุมตาด้านใน รอจนกระทั่งวัคซีนเข้าไปในตาจึงปล่อยไก่ การหยอดจมูกจะให้ผลดีกว่าการหยอดตา การหยอดโดยใช้นิ้วมือปิดรูจมูกไว้ข้างหนึ่งแล้วจึงหยอดวัคซีนในรูจมูกอีกข้างหนึ่ง การทำวัคซีนโดยการหยอดตาและหยอดจมูกทำให้ไก่ทุกตัวได้รับปริมาณวัคซีนที่ใกล้เคียงกันทุก ๆ ตัว ดังนั้น ภูมิคุ้มโรคที่เกิดจึงมีระดับใกล้เคียงกัน เพียงแต่วิธีการท ายุ่งยาก เสียเวลาและเสียแรงงานมากกว่าเท่านั้น

2. การแทงปีก เป็นการสร้างภูมิคุ้มกันเฉพาะที่ คือบริเวณใต้ผิวหนัง เช่น วัคซีนป้องกันโรคฝีดาษ เป็นวัคซีนที่มีความเข้มข้นมาก เนื่องจากใช้น้ำยาละลายวัคซีนเพียงเล็กน้อย และใช้เข็มจุ่มวัคซีนครั้งละ 0.01 ซี.ซี. โดยสังเกตจากการที่วัคซีนเต็มรูเข็มทั้งสองข้าง แล้วแทงเข็มจากทางด้านล่างผ่านทะลุผนังของปีกไก่ ระวังอย่าให้แทงผ่านขน กล้ามเนื้อ หรือกระดูก ภายใน 7-10 วัน หลังจากทำวัคซีนจะเกิดรอยสะเก็ดแผลทั้งด้านบนและด้านล่างของผนังปีกไก่ซึ่ง เกิดจากการแทงเข็มผ่าน

3. การฉีดเข้าใต้ผิวหนัง เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทำวัคซีนป้องกันโรคมาเร็กซ์ โดยฉีดเข้าใต้ผิวหนังบริเวณท้ายทอยหรือฐานคอ ทำให้การสร้างภูมิคุ้มกันเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ให้ผลในการคุ้มกันโรคนาน

4. การฉีดเข้ากล้ามเนื้อ เป็นวิธีที่นิยมใช้กับวัคซีนชนิดเชื้อตาย ซึ่งจะฉีดเข้ากล้ามเนื้อหน้าอก การฉีดเข้ากล้ามเนื้อจะกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันดีกว่าการหยอดตาและจมูก เพราะจะไปกระตุ้น

ระบบภูมิคุ้มกันด้วยสารน้ำขึ้นในกระแสเลือดและเกิดการหมุนเวียนไปทั่วร่างกาย ทำให้ภูมิคุ้มกันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้แก่ การฉีดวัคซีนป้องกันโรคอหิวาต์ไก่ เป็นต้น

5. การละลายน้ำดื่ม เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ประหยัดแรงงาน และเหมาะสำหรับไก่จำนวนมาก ๆ แต่การสร้างภูมิคุ้มกันจะมีความผันแปรค่อนข้างมาก เนื่องจากไก่แต่ละตัวได้รับวัคซีนในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้น จะต้องหยุดให้น้ำไก่เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงก่อนทำวัคซีน เพื่อกระตุ้นให้ไก่กระหายน้ำและกินน้ำผสมวัคซีนให้หมดภายใน 2 ชั่วโมง ระยะเวลาในการอดน้ำ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ อุปกรณ์ให้น้ำต้องเพียงพอสำหรับไก่จำนวน 2 ใน 3 ของคอกสามารถเข้าไปกินน้ำได้พร้อม ๆ กัน ถ้าไม่พออาจเพิ่มอุปกรณ์ให้น้ำขึ้นมาชั่วคราว สำหรับการนี้โดยเฉพาะ จุดนี้ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะการล้มเหลวจากการให้วัคซีนนี้มักเกิดจากระบบน้ำไม่ถูกต้องและอุปกรณ์ ไม่เพียงพอ สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ละลายวัคซีนจะผันแปรไปตามอายุของไก่

6. การสเปรย์ เป็นวิธีที่นิยมมากสำหรับการทำวัคซีนครั้งแรกในลูกไก่อายุ 1 วัน เพื่อป้องกันโรคติดเชื้อจากไวรัสในระบบทางเดินหายใจ อาจสเปรย์ตั้งแต่ในโรงฟักหรือโรงเรือนที่เลี้ยง โดยสเปรย์ใส่ลูกไก่ที่อยู่ในกล่องเลย ลูกไก่จะได้รับวัคซีนผ่านทางลูกตาหรือจมูก เป็นวิธีที่ทำได้รวดเร็ว สามารถให้วัคซีนแก่ไก่จำนวนมาก ๆ ในระยะเวลาอันสั้น แต่ประมาณวัคซีนที่ได้รับอาจแตกต่างกันไป การสเปรย์ควรสเปรย์ให้พอหมาดๆ ไม่ควรให้ตัวลูกไก่เปียกโชก และควรทิ้งลูกไก่ไว้ 10-15 นาที เพื่อให้ตัวแห้ง (ประภากร, 2560)

2.2 ระบบย่อยอาหาร (Digestive system)

ระบบย่อยอาหารเป็นระบบที่สำคัญของไก่ เพราะโภชนะในอาหารจะถูกเปลี่ยนแปลงในร่างกายเพื่อใช้ในการให้ผลผลิตเนื้อและไข่ ซึ่งไก่ต้องการอาหารที่มีเยื่อใยต่ำและประกอบไปด้วยโภชนะต่าง ๆ ที่จำเป็นในปริมาณที่เพียงพอ กระบวนการย่อยอาหารในไก่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นกินอาหารเข้าไปจนกระทั่งสำเร็จกระบวนการดูดซึม ระบบย่อยอาหารในไก่ประกอบด้วยอวัยวะต่าง ๆ ดังนี้ (ดังภาพที่ 4)

1. ปาก (Mouth) ลักษณะของปากไก่ที่แตกต่างจากสัตว์ชนิดอื่น ๆ คือ ไม่มีริมฝีปาก ฟันและกระพุ้งแก้ม แต่จะมีจะงอยปาก (Beak) ที่แข็งซึ่งใช้ในการจิกและฉีกอาหาร ลิ้นมีลักษณะแข็งรูปร่างคล้ายหัวลูกศรทำหน้าที่ในการบังคับและดันให้อาหารไหลลงสู่หลอดอาหาร ในปากมีต่อมน้ำลายอยู่บริเวณด้านข้างทั้งสองข้าง ทำหน้าที่ผลิตน้ำลายซึ่งมีลักษณะเป็นด่างอ่อน ๆ ทำให้อาหารเปียกชื้นและอ่อนนุ่ม และเอนไซม์ Ptyalin ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยแป้งไปเป็นน้ำตาล แต่การย่อยในปากเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากอาหารจะอยู่ในปากเพียงระยะสั้น ๆ

2. หลอดอาหาร (Esophagus) เป็นท่อกล้ามเนื้อทำหน้าที่ในการลำเลียงอาหารจากปากไปยังกระเพาะ ตอนปลายของหลอดอาหารจะขยายออกเกิดเป็นกระเพาะพัก (Crop) ซึ่งมีในสัตว์ปีกเกือบ

ทุกชนิด เป็นที่พักอาหาร ระยะเวลาที่อาหารที่อยู่ในกระเพาะพักจะขึ้นอยู่กับขนาดของอาหารปริมาณอาหารที่กินและปริมาณอาหารที่อยู่ในกระเพาะบด ในกระเพาะพักไม่มีการสร้างเอนไซม์ แต่มีเอนไซม์ Ptyalin จากปากทำหน้าที่ในการย่อยแป้งต่อไป

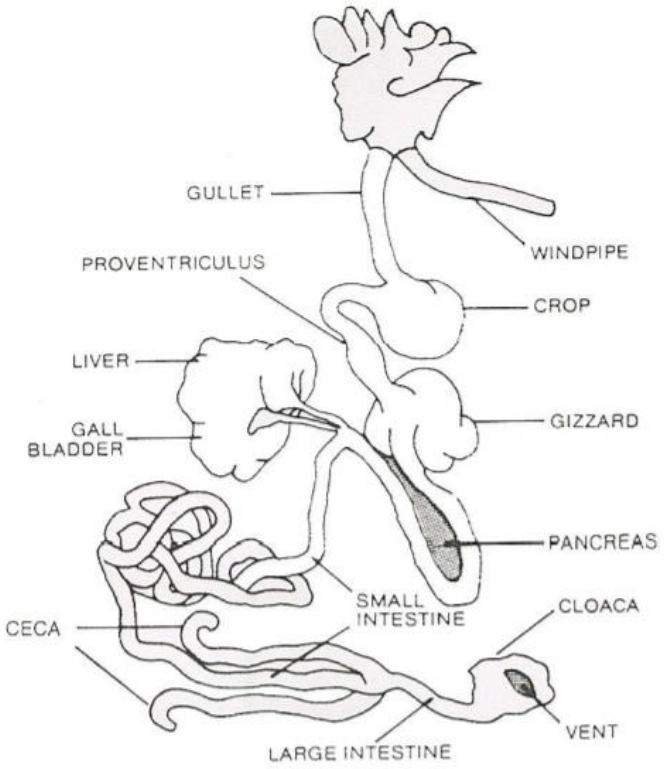
3. กระเพาะอาหาร (Stomach) กระเพาะอาหารไก่แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหน้าเรียกว่ากระเพาะแท้ (Proventriculus หรือ Glandular stomach) ส่วนหลังเรียกว่ากระเพาะบดหรือกึ๋น (Gizzard หรือ Muscular stomach) กระเพาะแท้จะต่ออยู่ทางด้านหลังของกระเพาะพักซึ่งอยู่ภายในช่องลำตัว เป็นบริเวณที่มีต่อมต่าง ๆ อยู่มากมายจึงเรียกว่า Glandular stomach ทำหน้าที่ในการผลิตเอนไซม์เปปซิน (Pepsin) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) โดยเอนไซม์เปปซินทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีนที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ส่วนกรดไฮโดรคลอริกทำหน้าที่ในการปรับสภาพกรด-ด่าง (พีเอช) ในกระเพาะให้มีสภาพเป็นกรดและช่วยในการย่อยโปรตีน เนื่องจากกระเพาะส่วนนี้มีขนาดเล็กและสั้นอาหารจึงผ่านจากส่วนนี้ไปสู่กระเพาะบดอย่างรวดเร็ว ท าให้การย่อยเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย กระเพาะบดอยู่ถัดจากกระเพาะแท้เป็นอวัยวะที่มีผนังหนา และมีกล้ามเนื้อแข็งแรงจึงเรียกว่า muscular stomach ทำหน้าที่บดอาหารแทนการเคี้ยวด้วยฟันในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว เอนไซม์จึงสามารถย่อยอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเสริมก้อนกรวดลงในอาหารจะทำให้การบดและการย่อยอาหารมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น บริเวณกระเพาะส่วนนี้ไม่มีการหลั่งเอนไซม์

4. ลำไส้เล็ก (Small intestine) เป็นท่อทางเดินอาหารที่ต่อจากกระเพาะบดไปสู่ลำไส้ใหญ่ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนต้น (Duodenum) ส่วนกลาง (Jejunum) และส่วนท้าย (Ilium) ลำไส้เล็กส่วนต้นเป็นท่อทางเดินอาหารที่มีลักษณะโค้งเป็นห่วง (Loop) เรียกว่า Duodenal loop เป็นที่ยึดตับอ่อน (Pancreas) ซึ่งตับอ่อนจะทำหน้าที่ในการผลิตน้ำย่อย (Pancreatic juice) เข้าสู่ลำไส้เล็ก นอกจากนี้น้ำดีจากตับจะช่วยปรับสภาพกรด-ด่าง (pH) ของอาหารให้เป็นกลาง และทำให้ไขมันกระจายตัวได้ดี กระบวนการย่อยจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ในส่วนของลำไส้เล็ก

5. ไส้ติ่ง (Caecum) ในสัตว์ปีกเกือบทุกชนิดมีไส้ติ่ง 2 อัน มีลักษณะเป็นถุง ตอนปลายขยายใหญ่กว่าตอนโคนถุงเชื่อมต่อกับท่อทางเดินอาหารบริเวณรอยต่อระหว่างลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ (Ileo-caeco-rectal junction) เป็นส่วนสุดท้ายสำหรับการย่อยอาหารและการดูดซึมน้ำ เป็นบริเวณที่เกิดการหมักและย่อยเยื่อใยในอาหารโดยแบคทีเรีย

6. ลำไส้ใหญ่ (Large intestine) อยู่ต่อจากลำไส้เล็กและสิ้นสุดที่ทวารร่วม มีความยาวเพียงประมาณ 10 เซนติเมตร กระบวนการย่อยอาหารในลำไส้เล็กอาจจะต่อเนื่องถึงลำไส้ใหญ่ กากอาหารหรืออาหารที่ผ่านการย่อยแล้วและอาหารบางส่วนที่ไม่ถูกย่อยหรือย่อยไม่ได้ จะเคลื่อนตัวมาอยู่ในลำไส้ส่วนนี้เพื่อรอการขับถ่ายออก นอกจากนี้จะมีการดูดซึมน้ำจากกากอาหารเข้าสู่ร่างกายทำให้กากอาหารมีลักษณะแห้ง

7. ทวารร่วม (Cloaca) เป็นส่วนสุดท้ายของระบบทางเดินอาหารซึ่งจะเปิดเข้าสู่ทวารร่วม เป็นท่อร่วมระหว่างระบบขับถ่ายและระบบสืบพันธุ์ (ประภากร, 2560)



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของอวัยวะในระบบทางเดินอาหารไก่
ที่มา: North (1984)

2.2.1 ลำไส้เล็ก

ลำไส้เล็ก (Small Intestine) Hoffmann (2005) อธิบายว่า ลำไส้เล็ก (Small Bowel หรือ Small Intestine) เป็นส่วนของทางเดินอาหารที่ต่อมาจากกระเพาะอาหารและไปสิ้นสุดที่ลำไส้ใหญ่ มีลักษณะเป็นท่อกลวงยาวซึ่งมีขนาดเล็กกว่าลำไส้ใหญ่ จึงเรียกว่า ลำไส้เล็ก

ลำไส้เล็กแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ลำไส้เล็กส่วนต้นหรือดูโอเดนัม (Duodenum) ลำไส้เล็กส่วนกลางหรือเจจูนัม (Jejunum) ลำไส้เล็กส่วนปลายหรือไอเลียม (Ileum)

*2.2.1.1 ลำไส้เล็กส่วนต้นหรือดูโอเดนัม (*Duodenum)

ลำไส้เล็กส่วนต้นหรือดูโอเดนัม (Duodenum) เป็นลำไส้ส่วนที่ต่อมาจากกระเพาะอาหารส่วนไพโรลัส (Pylorus) ลักษณะเป็นท่อกลวงโค้งรูปตัวซี (C) ซึ่งลำไส้เล็กส่วนนี้จะล้อมเป็นวงที่หัวของตับอ่อน (Pancreas) ลำไส้เล็กส่วนต้นนี้จะมีส่วนที่นูนเป็นตุ่มขนาดเล็ก เรียกว่าแอมพูลลาออฟวาเตอร์ (Ampulla of Vater) ซึ่งเป็นรูเปิดของท่อน้ำดีร่วม (Common Bile Duct) และท่อตับอ่อน (Pancreatic Duct) ซึ่งจะเป็นทางออกของน้ำดีและน้ำย่อยอาหารจากตับอ่อนเข้าสู่ลำไส้เล็ก ผนังของ

ดูโอเดนัม แยกเป็นหลายชั้น หน้าที่ของลำไส้เล็กส่วนต้น คือย่อยอาหารต่อจากกระเพาะอาหาร โดยย่อยอาหารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก สร้างน้ำย่อยอาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต และสร้างฮอร์โมนต่างๆที่ช่วยกระตุ้น การบีบตัวของกระเพาะอาหาร การหลั่งน้ำดีของตับและของถุงน้ำดีและการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน (Hoffmann, 2005)

2.2.1.2 ลำไส้เล็กส่วนกลางหรือเจจูนัม (Jejunum)

ลำไส้เล็กส่วนกลางหรือเจจูนัม (Jejunum) เป็นลำไส้เล็กส่วนที่อยู่ระหว่างดูโอเดนัมและลำไส้เล็กส่วนปลายที่เรียกว่าไอเลียม (Ileum) เจจูนัมมีลักษณะเป็นท่อยาวคดเคี้ยวไปมาในช่องท้องและยึดติดกับผนังช่องท้องด้านหลังโดยแผ่นเนื้อเยื่อที่เรียกว่า เยื่อบุแขวนไส้ (Mesentery) ซึ่งมีเยื่อบุแขวนไส้นี้จะพบได้ตลอดความยาวของเจจูนัม การดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้วเข้าสู่กระแสเลือดของร่างกาย ได้แก่ ดูดซึมโมเลกุลของอาหารพวกแป้งและน้ำตาล ที่เรียกว่าคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยสลายจนกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ที่เรียกว่าโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) เข้าสู่กระแสเลือด ดูดซึมโมเลกุลของอาหารพวกโปรตีนที่ถูกย่อยสลายจนกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่ากรดอะมิโน (Amino Acid) เข้าสู่กระแสเลือด ดูดซึมโมเลกุลของอาหารพวกไขมันที่ถูกย่อยสลายจนกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่ากรดไขมัน (Fatty Acid) เข้าสู่กระแสเลือด ดูดซึมสารแร่ธาตุไวตามิน และน้ำเข้าสู่กระแสเลือด หลั่งสารพวกอิมมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) โดยเฉพาะอิมมูโนโกลบูลิน เอ (Immunoglobulin A; IgA) ทำหน้าที่เกี่ยวกับภูมิคุ้มกันต้านทานโรคในทางเดินอาหาร สร้างฮอร์โมนบอมเบซิน (Bombesin) ซีครีติน (Secretin) และโคลีซีสโตไคนิน (Cholecystokinin) เพื่อมีผลต่อการทำงานของกระเพาะอาหาร ถุงน้ำดีและท่อน้ำดีและสร้างน้ำย่อยอาหารเพิ่มเติมได้เช่น โปรตีเอส (Protease) ย่อยโปรตีน คาร์โบไฮเดรส (Carbohydras) ย่อยอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาลแต่หน้าที่นี้จะไม่ใช่หน้าที่หลักเหมือนลำไส้เล็กส่วนต้น (Hoffmann, 2005)

2.2.1.3 ลำไส้เล็กส่วนปลายหรือไอเลียม (Ileum)

ลำไส้เล็กส่วนปลายหรือไอเลียม (Ileum) เป็นลำไส้เล็กส่วนปลายอยู่ระหว่างเจจูนัม (Jejunum) และลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม (Cecum) โดยจะไปสิ้นสุดที่บริเวณรอยต่อกับซีกัมที่เรียกว่า ไอลีโอซีกัลวาวล์ (Ileocecal valve) ไอเลียมมีลักษณะเป็นท่อยาวคดเคี้ยวไปมาในช่องท้องและยึดติดกับผนังช่องท้องด้านหลัง โดยแผ่นเนื้อเยื่อ ที่เรียกว่าเยื่อบุแขวนไส้ (Mesentery) ซึ่งจะพบได้ตลอดความยาวของไอเลียม หน้าที่หลักของลำไส้เล็กส่วนปลายหรือไอเลียม จะไม่ใช่การย่อยอาหารจากโมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลเล็กเหมือนลำไส้เล็กส่วนต้น แต่จะเป็นการดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้วเข้าสู่กระแสเลือดของร่างกายคล้ายกับหน้าที่ของเจจูนัมข้างต้น แต่จะมีข้อแตกต่าง คือ การดูดซึมวิตามินบี 12 จะเกิดที่ไอเลียมเป็นส่วนใหญ่ การดูดซึมกรดน้ำดี (Bile Acid สารชนิดหนึ่งในน้ำดีที่ช่วยการย่อยอาหาร) สร้างสารนิวโรเทนซิน (Neurotensin) ทำหน้าที่ลดการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบของกระเพาะอาหาร สร้างสารเอนเตอโรไครนิน (Enterocrinin) ทำหน้าที่ลดการทำงานของลำไส้เล็กด้วยกันเองและสร้าง

ฮอร์โมนเอนเตอโรกลูเคกอน (Enteroglucagon) ทำหน้าที่ในการเพิ่มปริมาณเซลล์ของลำไส้เล็ก (Hoffmann, 2005)

2.2.2 การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก

บัวรอง (2557) อธิบายว่าการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก แบ่งออกเป็น 2 คือการเคลื่อนไหวขณะที่มีอาหารเข้ามาในลำไส้เล็กก็และการเคลื่อนไหวในช่วงระหว่างมื้ออาหาร บริเวณลำไส้ตอนต้น (Duodenum) จะมีน้ำย่อยจากสามแหล่งมาผสมกับไคม์ (Chyme) ซึ่งคืออาหารที่คลุกเคล้ากับน้ำย่อยและถูกย่อยไปบางส่วน มีลักษณะคล้ายซุปข้น ๆ ได้แก่น้ำย่อยจากผนังลำไส้เล็ก (Intestinal Juice)น้ำย่อยจากตับอ่อน (Pancreatic Juice) น้ำดี (Bile) จากตับ (Liver) ซึ่งนำมาเก็บไว้ที่ถุงน้ำดี การเคลื่อนไหวขณะที่มีอาหารเข้ามาในลำไส้เล็ก แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการบีบตัวเป็นปล้องและการบีบเคลื่อน

1.1 การบีบตัวเป็นปล้อง

เมื่อมีไคม์เข้ามาในลำไส้เล็ก ทำให้ผนังลำไส้เล็กถูกยืดขยายเกิดการหดตัวเป็นปล้อง ๆ ลักษณะคล้ายไส้กรอก การหดตัวจะเกิดขึ้นสลับกับการคลายตัวสลับกันไปมาการหดตัวแบบนี้จะทำให้ก้อนอาหารถูกแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กลงและคลุกเคล้ากับน้ำหลั่ง ความถี่ในการหดตัวขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นไฟฟ้าที่มาจากกล้ามเนื้อเรียบในผนังของลำไส้เล็ก การหดตัวจะเกิดขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นในลำไส้เล็กส่วนต้น และส่วนบนของลำไส้เล็กส่วนกลางการหดตัวแบบนี้นอกจากจะอาศัยการทำงานของคลื่นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อเรียบแล้วยังอาศัยการทำงานจากร่างแหประสาทไมเอนเทอริกด้วย ซึ่งการกระตุ้นจากระบบประสาทไมเอนเทอริกจะถูกยับยั้งด้วยอะโทรพีนมีผลทำให้การบีบตัวอ่อนลง

1.2 การบีบเคลื่อนเป็นการบีบไล่อาหาร

ให้เคลื่อนลงสู่ส่วนล่างของลำไส้เล็ก การบีบตัวเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นหลังจากกินอาหาร เป็นผลมาจากไคม์เข้ามาลำไส้เล็ก ทำให้ผนังลำไส้เล็กถูกยืดขยายและมาจากแกสโทรเอนเทอริกรีเฟล็กซ์ ที่เกิดจากการยืดขยายของกระเพาะอาหารส่งผ่านทางร่างแหประสาทไมเอนเทอริกจากกระเพาะอาหารไปตามผนังของลำไส้เล็ก ฮอร์โมนที่มีผลเพิ่มการบีบเคลื่อน ได้แก่ แกสทริน โคลีซิสโทไคนิน อินซูลิน โมลิทและซีโรโทนิน ส่วนฮอร์โมนซีครีทินและกลูคากอน จะยับยั้งการเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กเป็นรีเฟล็กซ์ที่ต้องอาศัยระบบประสาทภายนอกและระบบประสาทไมเอนเทอริก

การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กในระหว่างช่วงมื้ออาหาร

ในช่วงระหว่างมื้ออาหาร (Fasting State) หรือขณะท้องว่าง พบว่าลำไส้เล็กจะมีการบีบเคลื่อนเกิดขึ้น เรียกว่า Migrating Motor Complex (MMC) การเคลื่อนแบบ MMC จะเริ่มจากกระเพาะอาหารลงไปถึงลำไส้ส่วนปลาย การบีบเคลื่อนแบบ MMC เป็นการบีบเคลื่อนเพื่อพาอาหารที่ตกค้างอยู่รวมทั้งแบคทีเรียที่อยู่ในทางเดินอาหารและน้ำหลั่งต่าง ๆ จากลำไส้เล็ก ตับอ่อนและ

ทางเดินน้ำดีการบีบเคลื่อนจะพาสิ่งเหล่านี้ไปยังลำไส้ใหญ่ซึ่งจะทำให้ไม่มีแบคทีเรียตกค้างอยู่ที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย ถ้าหากไม่มีการบีบเคลื่อนแบบ MMC จะมีผลทำให้แบคทีเรียตกค้างอยู่ใน ลำไส้เล็กส่วนปลาย แบคทีเรียนี้จะไปกระตุ้นให้หลั่งคลอไรด์และน้ำจากเซลล์ในชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กทำให้เกิดอาการท้องร่วงตามมา นอกจากนี้การบีบเคลื่อนแบบ MMC ยังช่วยยับยั้งแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ไม่ให้เข้ามาในลำไส้เล็กส่วนปลายด้วย

3. กล้ามเนื้อหูรูดอิลิโอซีคัม มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาหารผ่านย้อนกลับจากลำไส้ใหญ่ใหญ่เข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนปลายการหดตัวของกล้ามเนื้อหูรูดอิลิโอซีคัมและการบีบเคลื่อนในลำไส้เล็กส่วนปลายถูกควบคุมโดยรีเฟล็กซ์จากลำไส้ใหญ่ซีคัม

การหลั่งในลำไส้เล็ก

บัวรอง (2557) อธิบายว่า

1.การหลั่งน้ำเมือกจากต่อมบรุนเนอร์ในลำไส้เล็กส่วนต้น

ต่อมบรุนเนอร์ (Brunner’s Glands) อยู่ที่ผนังของลำไส้เล็กส่วนต้นระหว่างไพลอรัสกับช่องเปิดของท่อน้ำดีและท่อน้ำจากตับอ่อน ต่อมนี้จะหลั่งน้ำเมือกที่มีความเป็นด่าง เพื่อป้องกันชั้นเนื้อเยื่อเมือกของลำไส้เล็กเล็กส่วนต้น จากไคม์ที่เป็นกรดมาจากกระเพาะอาหารเมื่อมีอาหารเข้ามาสัมผัสชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กส่วนต้นทำให้เส้นประสาทเวกัสถูกกระตุ้นและฮอร์โมนซีครีทินถูกหลั่งออกมา มีผลไปกระตุ้นต่อมบรุนเนอร์ให้หลั่งน้ำเมือก

2. การหลั่งสารจากคริปท์อ๊อฟลีเบอร์คูห์น

คริปท์ออฟลีเบอร์คูห์น (Crypts of Lieberkühn) อยู่บริเวณรอยเว้าเข้าไประหว่างวิลไลคริปท์และวิลไล ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือ เซลล์ก็อบเลท (Goblet Cell) หลั่งน้ำเมือกเพื่อมาหล่อลื่นและป้องกันผิวหน้าของชั้นเยื่อเมือกและเซลล์เอนเทอโรไซต์ (Enterocyte) ที่อยู่บริเวณคริปท์จะหลั่งน้ำและอิเล็กโทรไลต์ขณะที่เซลล์เอนเทอโรไซต์ที่อยู่บริเวณวิลไลจะดูดซึมน้ำอิเล็กโทรไลต์ และผลิตผลของอาหารที่ย่อยแล้ว น้ำหลั่งจากเซลล์คริปท์จะถูกดูดกลับโดยเซลล์ที่วิลไล เซลล์เยื่อบุที่อยู่บริเวณคริปท์จะมีการแบ่งตัวแบบไมโตซิสตลอดเวลา เซลล์ใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นจะเคลื่อนที่ขึ้นมาบนยอดของวิลไลเพื่อทดแทนเซลล์ที่หลุดลอกออกไป

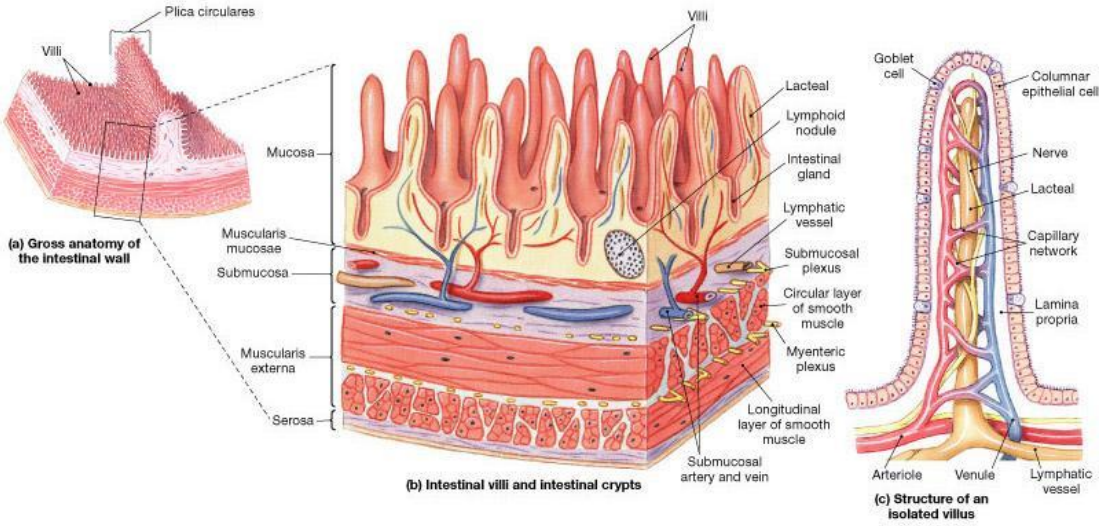
2.3 การย่อยและการดูดซึม

บัวรอง (2557) อธิบายว่า

2.3.1 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรต

2.3.1.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรต บริเวณชั้นเยื่อของลำไส้เล็กมีลักษณะยื่น เข้าไปในโพรงลำไส้เล็กคล้ายนิ้วมือเรียกว่าวิลไล (Villi) แต่ละวิลลัสประกอบด้วยหลอดเลือดฝอยและท่อนำน้ำเหลืองที่อยู่ตรงกลางวิวลัส เซลล์ที่อยู่บริเวณนี้เรียกว่า เอนเทอโรไซต์ (Enterocyte) ด้านบนของเซลล์

เอนเทอโรไซต์จะมีส่วนอื่นยื่นออกไป เรียกว่า ไมโครวิลไล (Microvilli) บริเวณไมโครวิลไลของเซลล์ในลำไส้เล็กทั้งหมด เรียกว่า ผนังบรัชบอร์เดอร์ (Brush Border Membrane) (ภาพที่ 5) ลักษณะเช่นนี้ทำให้ลำไส้เล็กมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นถึง 600 เท่า เพื่อใช้ในการย่อยและดูดซึมอาหาร



ภาพที่ 5 โครงสร้างของวิลไล

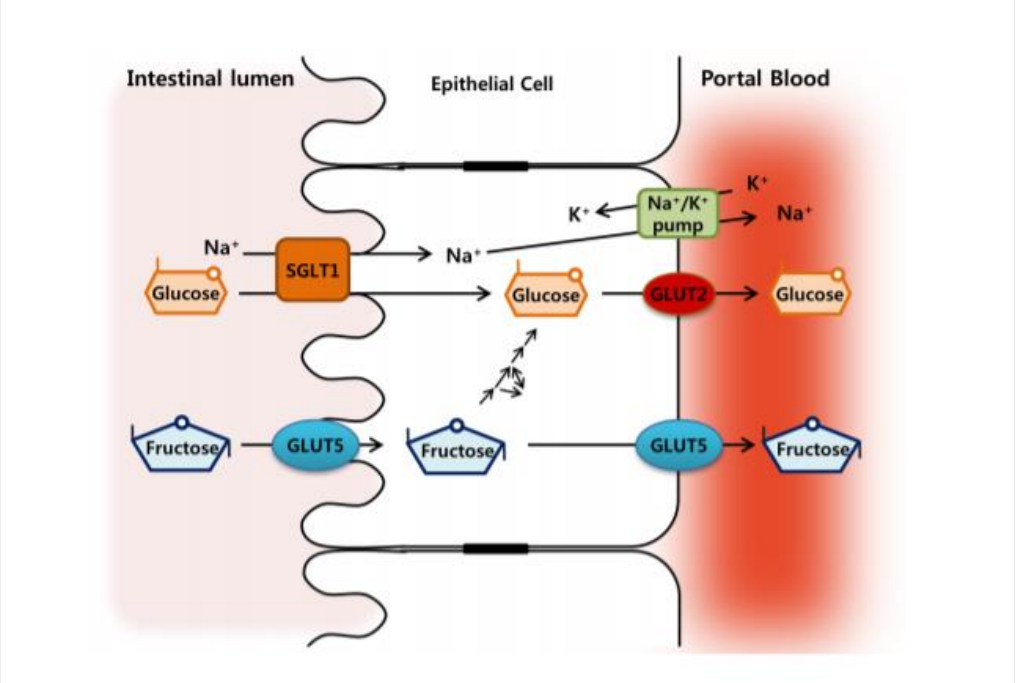
ที่มา: Frederick et al. (1997)

คาร์โบไฮเดรตในอาหารแหล่งพลังงานหลักของร่างกาย ได้แก่ แป้งที่ได้จากพืช ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอมิโลเพกติน (Amylopectin) แอมิโลส (Amylose) และเซลลูโลส (Cellulose) ส่วนแป้งที่ได้จากสัตว์จะอยู่ในรูปของไกลโคเจน (Glycogen) ประกอบไปด้วยแอมิโลสเป็นส่วนใหญ่ การย่อยอาหารจำพวกแป้งเริ่มตั้งแต่ที่ปากโดยใช้น้ำย่อยแอมิเลสจากน้ำลาย ซึ่งจะย่อยพันธะอัลฟา -1,4 ด้านในของแป้งได้เป็นมอลโทส (Maltose) มอลโทไทรโอส (Maltotriose) และ อัลฟา –ลิมิต เดกซ์ทริน (α-Limit Dextrin) ประกอบด้วย กลูโคส 3-9 หน่วย แต่เนื่องจากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในปากค่อนข้างสั้น ทำให้ย่อยอาหารได้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของแป้งทั้งหมด เมื่ออาหารเข้ามาในกระเพาะอาหารทำให้อาหารมีสภาพเป็นกรด ซึ่งเอนไซม์แอมิเลสจะทำการย่อยไม่ได้ถ้า pH ลดลงต่ำกว่า 4.0 เมื่ออาหารมาถึงลำไส้เล็กจะถูกย่อยด้วยเอนไซต์แอมิเลสจากตับอ่อน ซึ่งมีปริมาณมากทำให้การย่อยดำเนินไปได้อย่างเร็ว

การย่อยโอลิโกแซกคาไรด์และไดแซกคาไรด์ให้เป็นโมโนแซกคาไรด์โดยเอนไซม์ที่อยู่บนผนังบรัชบอร์เดอร์ของเซลล์ดูดซึมของลำไส้เล็ก เอนไซม์โอลิโกแซกคาริเดสที่อยู่บนผนังบรัชบอร์เดอร์ได้แก่ แลกเทส กลูโคแอลิเมสหรือมอลเทส ซูเครส และไอโซมอลเทสหรือเดกซ์ทริเนส เอนไซม์โอลิโกแซกคาไรด์จะกระจายอยู่ทั่วลำไส้เล็กโดยจะมีมากที่สุดที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง มีน้อยลงที่ลำไส้เล็กส่วนต้นและลำไส้เล็กส่วนปลาย

ผลการย่อยโอลิโกแซกคาไรด์จะได้กลูโคสมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ กาแลกโทสและฟรุกโทสประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า และถูกดูดซึมได้มากที่สุดที่ส่วนต้นของลำไส้เล็กส่วนกลาง เมื่อถูกดูดซึมเข้ามาในเซลล์จะผ่านเข้าสู่หลอดเลือดฝอยและถูกนำไปยังตับทางหลอดเลือดดำพอร์ทัล

2.3.1.2 การดูดซึมกลูโคส กาแลกโทสและฟรุกโทส กลูโคสและกาแลกโทส ถูกดูดซึมผ่านเยื่อเซลล์ด้านโพรงลำไส้ โดยจับกับตัวขนส่งโซเดียมต่อกลูโคส 1 (Na ต่อ Glucose Transposter1; SGLT1) และเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในเซลล์เป็นการขนส่งโดยอาศัยพลังงานแบบทุติยภูมิ เนื่องจากกลูโคสเคลื่อนที่เข้าเซลล์เป็นแบบต้านความลาดเชิงความเข้มข้น แต่อาศัยความลาดเข้มข้นของโซเดียมที่ภายนอกเซลล์สูงกว่าภายในเซลล์เป็นตัวนำกลูโคสเข้ามาภายเซลล์ โดยที่โซเดียมภายในเซลล์จะถูกปั๊มออกจากเซลล์ทางเยื่อเซลล์ด้านหลอดเลือดแบบใช้พลังงาน ทำให้เกิดลาดความเข้มข้นของโซเดียมมีผลทำให้โซเดียมภายในเซลล์ต่ำกว่าภายนอกเซลล์ดังนั้น ถ้าไปยับยั้งการปั๊มโซเดียมออกจากเซลล์จะมีผลทำให้การดูดซึมกลูโคสลดลง กลูโคสและกาแลกโทสจะถูกดูดซึมผ่านเยื่อเซลล์ด้านหลอดเลือดเข้าสู่หลอดเลือดโดยการแพร่แบบเร่งรัดและอาศัยตัวพา GLUT2 ฟรุกโทสถูกดูดซึมแบบการแพร่เร่งรัดโดยอาศัยตัวพา GLUT5 ผ่านเยื่อเซลล์ด้านในโพรงลำไส้เล็กและออกจากเซลล์ททางเยื่อเซลล์ด้านหลอดเลือดโดยการแพร่แบบเร่งรัดและอาศัยตัวพา GLUT2 เช่นเดียวกับกลูโคสและกาแลกโทส (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่ลำไส้เล็ก

ที่มา: Lee and Cha (2018)

2.3.2 การย่อยและการดูดซึมโปรตีน

2.3.2.1 การย่อยโปรตีน แบ่งออกเป็น 4 ทาง คือ

1. เอนไซม์ในทางเดินอาหารที่มาจากกระเพาะอาหารและตับอ่อน ย่อยโปรตีนได้เพปไทด์และย่อยเพปไทด์ต่อได้กรดอะมิโน กรดอะมิโนถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ดูดซึม

2. เอนไซม์ในทางเดินอาหารย่อยโปรตีนได้เพปไทด์ เพปไทด์ถูกย่อยต่อโดยเอนไซม์ที่ผนังบรัชบอร์เดอร์ของเซลล์ดูดซึมได้กรดอะมิโน กรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์ดูดซึม

3. เอนไซม์ในทางเดินอาหารย่อยโปรตีนได้เพปไทด์หรือโอลิโกเพปไทด์แล้วถูกดูดซึมโอลิโกเพปไทด์ที่ถูกดูดซึมเข้ามาในเซลล์ดูดซึมถูกย่อยด้วยเอนไซม์เพปซิเดสที่อยู่ในไซโตพลาสซึมได้กรดอะมิโน กรดอะมิโนถูกขนส่งออกจากเซลล์เข้าไปในหลอดเลือด

4. เอนไซม์ในทางเดินอาหารย่อยโปรตีนได้โอลิโกเพปไทด์ถูกดูดซึมเข้ามาในเซลล์และถูกขนส่งออกทางเซลล์เข้าสู่หลอดเลือด

การย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหาร เอนไซม์เพปซิโนเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นเอนไซม์เพปซิน ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ที่ pH ระหว่าง 3-5 และจะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อ pH น้อยกว่า 1.8-3.5 และจะหยุดการทำงานเมื่ออยู่ในสภาวะ pH มากกว่า 7 ลักษณะที่สำคัญของเพปซิน คือย่อยคอลลาเจนซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อ เพปซินย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่เข้าไปในกระเพาะอาหาร เพปซินย่อยโปรตีนได้โปรทีเอส (Proteose) เพปโทน (Peptone) และโพลิเพปไทด์ (Polypeptide)

การย่อยโปรตีนจะเกิดขึ้นที่ลำไส้เล็กส่วนต้น โดยเอนไซม์จากตับอ่อนและลำไส้เล็กส่วนกลาง โดยทริปซินและไคโมทริปซินซึ่งเป็นเอนโดเพปทิเดส จะทำการย่อยโปรตีนได้โอลิโกเพปไทด์ที่มีกรดอะมิโน 2-6 ตัว ส่วนเอนไซม์คาร์บอกซีเพปทิเดสจะย่อยพันธะเพปไทด์ทางด้านปลายคาร์บอกซิลของโปรตีนกรดอะมิโน เอนไซม์อิลาสตินเป็นเอนโดเพปซิเดสจะย่อยเส้นใยอิลาสตินที่อยู่ในเนื้อสัตว์ ผลของการย่อยด้วยเอนไซม์จากตับอ่อนจะได้โอลิโกเพปไทด์ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และกรดอะมิโมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

การย่อยเพปไทด์จะเกิดขึ้นที่ลำไส้เล็กส่วนต้น โดยใช้เอนไซม์เพปซิเดสที่อยู่บนวิลไลและการย่อยเพปไทด์จะเกิดขึ้นที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง ที่เซลล์เอนเทอโรไซต์มีไมโครวิลไลจำนวนมากยื่นออกไปจากผิวหน้าของเซลล์ เยื่อเซลล์ของแต่ละไมโครวิลไลจะมีเอนไซม์เพปทิเดสยื่นออกมา โดยจะทำการย่อยเพปไทด์ออกไป เอนไซม์เพปซิเดสมี 2 ชนิด คือ อะมิโนโพลิเพปทิเดส (Amino Polypeptidase) และไดเพปทิเดส (Dipeptidase) ทำการย่อยโพลิเพปไทด์ขนาดใหญ่ได้ไตรเพไทด์ ไดเพปไทด์และกรดอะมิโนซึ่งจะดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้

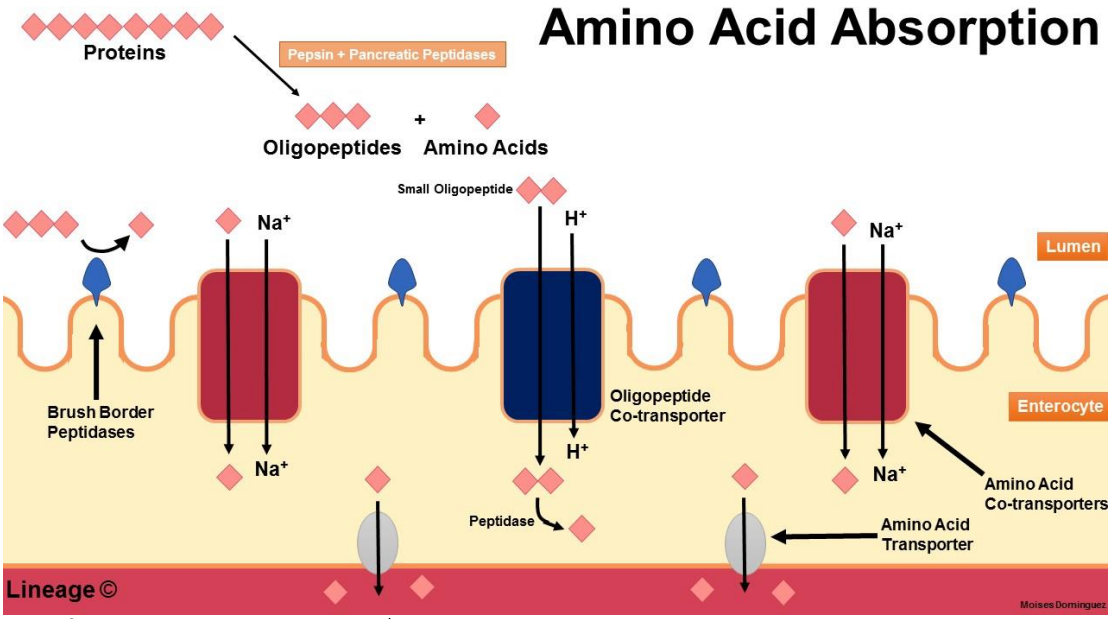
การย่อยในไซโตพลาสซึมของเซลล์เอนไซม์เพปทิเดสจะย่อยไตรเพปไทด์และไดเพปไทด์ได้กรดอะมิโนแล้วถูกดูดซึมเข้าสู่หลอดเลือด ดังนั้น 90 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดจะถูกดูดซึมเข้าสู่หลอดเลือดในรูปของกรดออะมิโน

2.3.2.2 การดูดซึมกรดอะมิโน

การดูดซึมกรดอะมิโนส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น และส่วนกลาง การดูดซึมของกรดอะมิโนผ่านเซลล์ดูดซึมจะใช้ระบบตัวพาชนิดต่างๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 7

1. การดูดซึมของกรดอะมิโนที่เยื่อเซลล์ด้านโพรงลำไส้ ระบบตัวพาที่สำคัญคือระบบตัวพา B (System B) เป็นตัวพาที่ขนส่งกรดอะมิโนที่มีฤทธิ์เป็นกลางและใช้โซเดียมร่วมในการขนส่ง

2. การดูดซึมของกรดอะมิโนที่เยื่อเซลล์ด้านหลอดเลือด กรดอะมโนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เอนเทอโรไซต์และกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์เพปซิเดสภายในไซโทพลาสซึมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จะถูกนำไปใช้ภายในเซลล์เพื่อสร้างโปรตีน การขนส่งกรดอะมิโนผ่านเยื่อเซลล์ด้านนี้มี2 ทิศทางคือ ขนส่งสู่หลอดเลือดและจากหลอดเลือดเข้าสู่เซลล์



ภาพที่ 7 การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่ลำไส้เล็ก

ที่มา: Hetland and Svihus (2001)

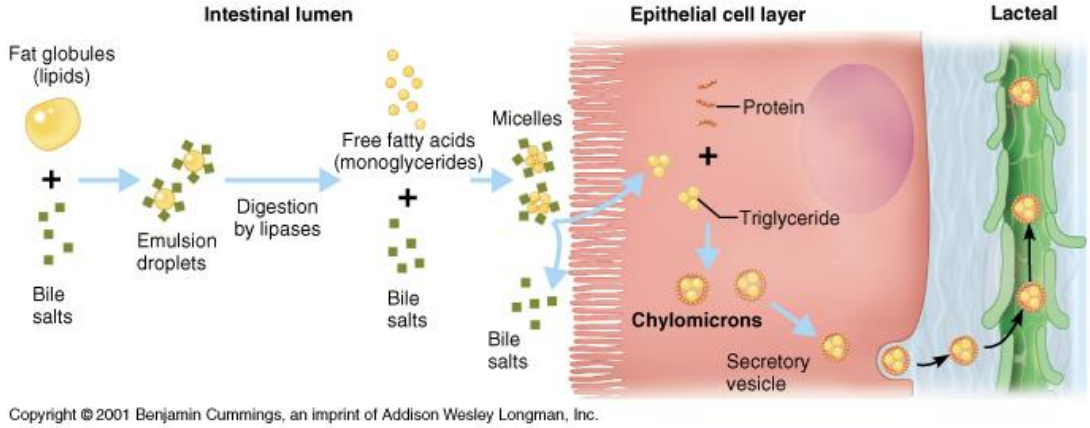
2.3.3 การย่อยและการดูดซึมไขมัน

ไขมันในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ไขมันที่ได้จากเนื้อสัตว์จะประกอบด้วยกลีเซอรอลและกรดไขมันไขมในเนื้อสัตว์จะมีอัตราส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าในพืช นมที่มีไขมันจะประกอบด้วยกรดไขมันสายสั้นและสายกลาง นอกจากนี้อาหารยังมีฟอสโฟลิพิด โคเลสเตอรอลและโคเลสเตอรอลเอสเทอร์

2.3.3.1 การย่อยไขมันที่ปากจะมีการย่อยเพียงเล็กน้อยโดยเอนไซม์ลิงกัวไลเพส (lingual lipase) เมื่ออาหารเข้ามาในกระเพาะจะถูกย่อยต่อด้วยเอนไซม์ลิงกัวไลเพสและแกสทริกไลเพส (gastric lipase) เอนไซม์แกสทริกไลเพสจะย่อยไตรกลีเซอไรด์ได้ไดกลีเซอไรด์กับกรดไขมัน เมื่อกรดไขมันผ่านเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้นจะถูกกระตุ้นให้หลั่งฮอร์โมนโคลีซิสโทไคนินและแกสทริกอินฮิบิทอรีเพปไทด์ฮอร์โมนโคลีซิสโทไคนินจะไปกระตุ้นให้ถุงน้ำดีหดตัว หลั่งน้ำดีเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้นและฮอร์โมนโคลีซิสโทไคนินยังไปกระตุ้นตับอ่อนให้หลั่งเอนไซม์ออกมาย่อยไขมันด้วยการย่อยไขมันที่ลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลางโดยเอนไซม์ลิโพไลติก (Lipolytic Enzyme) น้ำย่อยจากตับอ่อนส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ไลเพสซึ่งจะทำงานได้ดีต้องมีโคไลเพส (Colipase) การทำงานของเอนไซม์ไลเพสจะมีประสิทธิภาพสูงสุดต้องอยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง มีเกลือน้ำดีและกรดไขมันด้วย ตับอ่อนหลั่งโคไลเพสในรูปของโพรโคไลเพส โพรโคไลเพสจะถูกทริปซินย่อยได้เป็นโคไลเพส เนื่องจากเอนไซม์ลิโพไลติกนี้ละลายได้ในน้ำ จึงทำให้เข้าไปย่อยไขมันได้เฉพาะบริเวณผิวหน้าของไขมันเท่านั้น ดังนั้น เกลือน้ำดีจึงมีหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวของไขมันให้มากขึ้น โดยทำให้ไขมันกระจายตัวออกเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งจะทำให้เอนไซม์ไลเพสและโคไลเพสเข้าไปย่อยไขมันที่กระจายตัวอยู่ได้ง่ายขึ้น

หน้าที่ของเกลือน้ำดีที่ช่วยในการดูดซึมไขมัน คือการรวมตัวของเกลือน้ำดีและกรดไขมัน เป็นไมเซลล์เนื่องจากเกลือน้ำดีมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่สามารถละลายได้ในน้ำ และละลายได้ในไขมัน ดังนั้น ภายในไมเซลล์จะประกอบด้วย เช่น 2-โมโนกลีเซอไรด์ ไลโซเลซิทิน กรดไขมันและโคเลสเตอรอล เกลือน้ำดีจะยื่นส่วนที่ละลายน้ำ ออกมาสู่ด้านนอก ซึ่งสามารถเคลื่อนที่เข้าไปชิดผนังบรัชบอร์เดอร์ของเซลล์เยื่อบุทำให้ไขมันเป็นไมเซลล์ ไขมันถูกดูดซึมได้ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าไม่มีไมเซลล์ ไขมันจะถูกดูดซึมประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์

2.3.3.2 การดูดซึมไขมัน การดูดซึมไขมันผ่านผนังบรัชบอร์เดอร์เนื่องจากกรดไขมัน 2-โมโนกลีเซอไรด์ โคเลสเตอรอลและไลโซเลซิทินเป็นไขมันจึงสามารถดูดซึมผ่านเยื่อเซลล์เข้ามาภายในเซลล์ได้ อย่างไรก็ตามพบว่าที่ผนังบรัชบอร์เดอร์ มีโปรตีนที่เป็นตัวขนส่งกรดไขมันสายยาวอยู่ด้วยเรียกว่า Fatty Acid-Binding Protein เมื่อไขมันถูกดูดซึมเข้ามาภายในเซลล์จะถูกนำไปที่เอนโดพลาสมิกเรทิคูลัมอย่างเรียบ เพื่อให้ 2-โมโนกลีเซอไรด์ ถูกนำมารวมกับกรดไขมัน สร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์ขึ้นมาใหม่ ไตรกลีเซอไรด์ไปจับกับฟอสโฟลิพิดและโคเลสเตอรอลซึ่งมีอะโปลิโพโปรตีน (Apolipoprotein) มาหุ้มรอบเป็นสารโมเลกุลใหญ่เรียกว่า ไคโลไมครอน (Chylomicron) จากนั้นถูกขนส่งออกจากเซลล์โดยวิธีเอกโซไซโทซิสเข้าสู่ท่อน้ำเหลืองตรงกลางวิลไลผ่านเข้าไปยังท่อน้ำเหลืองบริเวณทรวงอกแล้วเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การดูดซึมไขมันที่ลำไส้เล็ก

ที่มา: ปพัฒน์เปรมสิริ (2560)

2.3 ข้าว

ไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าวสำคัญของโลกมายาวนาน ในปี 2562/2563 ไทยมีผลผลิตข้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก โดยปริมาณผลผลิตข้าวสารของไทยคิดเป็น 4.2% ของผลผลิตข้าวทั่วโลก (รองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนาม ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณผลผลิต 29.3%, 23.1%, 7.5%, 7.1% และ 5.6% ตามลำดับ และไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 2 ของโลก มีส่วนแบ่งตลาดคิดเป็น 21.0% รองจากอินเดียซึ่งมีส่วนแบ่งตลาด 25.2% และยังมีคู่แข่งอื่นๆ อาทิ เวียดนาม ปากีสถาน สหรัฐฯ เมียนมา เป็นต้น ปริมาณการค้าข้าวในตลาดโลกมีสัดส่วนเพียงประมาณ 9.6% ของผลผลิตข้าวทั่วโลก เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่ปลูกเพื่อความมั่นคงด้านอาหารของประเทศ (ใช้บริโภค) เป็นหลัก ดังนั้นปริมาณการค้าข้าวระหว่างประเทศ (การส่งออก-นำเข้า) จึงเป็นเพียงผลผลิตส่วนเกินหรือส่วนขาดจากการบริโภคในแต่ละประเทศ ภาวะตลาดส่งออกจึงมักผันผวนตามปริมาณผลผลิตและการบริโภคในประเทศผู้ส่งออกและนำเข้า (Sowcharoensuk, 2019)

ข้าว มีความสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์มาก ประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชาวเอเชีย ดังนั้นข้าวจึงปลูกมากในเอเชียและใช้บริโภคในเอเชียประมาณร้อยละ 90 ในส่วนของประเทศไทยเอง ข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดและเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตคนไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

2.3.1 ชนิดของข้าว

ข้าวหมายถึงเมล็ดของพืชจำพวกหญ้าในวงศ์ Gramineae เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว มีรากเป็นระบบรากฝอย สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกันทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ตั้งแต่พื้นที่น้ำท่วมสูงไปจนถึงพื้นที่สูงตามไหล่เขา ทำให้เกิด

ความหลากหลายของข้าวชนิดต่าง ๆ ที่แพร่กระจายไปทั่วโลก อย่างไรก็ตามข้าวที่ปลูกเพื่อการบริโภคในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้าวแอฟริกา และข้าวเอเชีย นอกเหนือจากข้าวปลูกทั้งสองชนิดนี้แล้วที่เหลือจัดเป็นข้าวป่า (wild rice) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

ข้าวแอฟริกา (oryzaglaberrima Steud) แพร่กระจายอยู่เฉพาะบริเวณเขตร้อนของแอฟริกาเท่านั้น สันนิษฐานว่าข้าวแอฟริกาอาจเกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อประมาณ 1,500 ปีก่อนคริสตศักราช

ข้าวเอเชีย (oryza sativa) เป็นข้าวลูกผสมจากข้าวป่าชนิดต่าง ๆ มีถิ่นกำเนิดบริเวณประเทศอินเดีย บังคลาเทศ และเอเชียตะวันออกเฉียงได้ปลูกกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อินเดียตอนเหนือของบังคลาเทศบริเวณดินแดนสามเหลี่ยมระหว่างพม่า, ไทย, ลาว, เวียดนาม และจีนตอนใต้ ข้าวเอเชียแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. Japonica หรือ Senica เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศจีนตอนเหนือ, ตะวันออกญี่ปุ่น, เกาหลี และประเทศอื่น ๆ ที่อยู่ในเขตอบอุ่น เมล็ดมีลักษณะอ้วน ป้อม รวงแน่น ใบสีเขียวเข้มจัด เป็นข้าวเมล็ดสั้น

2. Indica เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศต่าง ๆ ในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา, จีนตอนใต้, ตอนกลางอินเดีย, อินโดนีเซีย, บังคลาเทศ, ไทยและฟิลิปปินส์ เมล็ดมีลักษณะเรียวยาว ใบมีสีเขียวอ่อน

3. Javanica เป็นข้าวที่พบมากในหมู่เกาะชวาประเทศอินโดนีเซีย มีปลูกบ้างเล็กน้อยในประเทศฟิลิปปินส์, อินเดียและศรีลังกา ข้าวชนิดนี้จะมีลำต้นแข็งแรง รวงยาว เมล็ดมีหางใบมีสีเขียวอ่อน ข้าวกลุ่มนี้ถูกใช้เป็นมาตรฐานในการกำหนดขนาดความยาวของข้าวในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือเมล็ดยาว (ยาวกว่า 6.6 มิลลิเมตร) เมล็ดกลาง (ระหว่าง 5.5 ถึง 6.6 มิลลิเมตร) และเมล็ดสั้น (สั้นกว่า 5.5 มิลลิเมตร) ในบางครั้งข้าวที่มีเมล็ดยาวกว่า 7.5 มิลลิเมตร ถูกเรียกว่าเมล็ดยาวพิเศษ

อรอนงค์ นัยวิกุล (2547) อธิบายว่าการแบ่งชนิดของข้าวสามารถแบ่งได้หลายแบบขึ้นกับแนวทางการแบ่งเช่นแบ่งตามประเภทเนื้อแข็งในเมล็ดพื้นที่เพาะปลูกการเก็บเกี่ยว ฯลฯ

ชนิดของข้าวแบ่งตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร สามารถแบ่งได้เป็น ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ซึ่งมีต้นและลักษณะอย่างอื่นเหมือนกันทุกอย่าง แตกต่างกันที่ประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ด เมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้งอะไมโลส (amylose) ประมาณร้อยละ 15 ถึง 30 หรือบางพันธุ์อยู่ในช่วงมากกว่าร้อยละ 10 ส่วนเมล็ดข้าวเหนียว ประกอบด้วยอะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นส่วนใหญ่และมีอะไมโลสเพียงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 5 ถึง 7 หรือบางพันธุ์น้อยกว่าร้อยละ 1

ชนิดของข้าวหากแบ่งตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก จะแบ่งได้เป็นข้าวไร่ (upland rice) เป็นข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและที่ลาดชัน ไม่ต้องทำคันนาเก็บกักน้ำ นิยมปลูกกันมากในบริเวณที่ราบสูงตามไหล่เขาทางภาคเหนือภาคใต้, ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ คิดเป็นเนื้อที่

เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ ข้าวนาสวนหรือนาดำ (lowland ice) เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มทั่ว ๆ ไปในสภาพที่มีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว โดยที่สามารถรักษาระดับน้ำได้ และระดับน้ำต้องไม่สูงเกิน 1 เมตร ข้าวนาสวนนิยมปลูกกันมากแทบทุกภาคของประเทศ คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 80 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ บางครั้งระดับน้ำในบริเวณที่ปลูกอาจสูงกว่า 1 เมตรต้องใช้ข้าวพันธุ์พิเศษที่เรียกว่า ข้าวลอยหรือข้าวฟางลอย ส่วนมากปลูกแถบจังหวัดพระนครศรีอยุธยา, สุพรรณบุรี, ลพบุรี, พิจิตร, อ่างทอง, ชัยนาท และสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ

ชนิดของข้าวยังสามารถแบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยว โดยแบ่งเป็นข้าวเบา, ข้าวกลางและข้าวหนัก ข้าวเบามีอายุการเก็บเกี่ยว 90 ถึง 100 วัน ข้าวกลางมีอายุการเก็บเกี่ยว 100 ถึง 120 วัน และข้าวหนักมีอายุการเก็บเกี่ยว 120 วันขึ้นไป อายุการเก็บเกี่ยวนับตั้งแต่วันเพาะกล้า หรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

ชนิดของข้าวแบ่งตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง โดยข้าวที่ไวต่อช่วงแสงจะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ไม่แน่นอน คือไม่เป็นไปตามอายุของต้นข้าว เพราะจะออกดอกในช่วงเดือนที่ความยาวของกลางวันสั้นกว่ากลางคืน ในประเทศไทยช่วงดังกล่าวเริ่มเดือนตุลาคม ดังนั้นข้าวกลุ่มนี้ต้องปลูกในฤดูนาปี (ฤดูฝน) เท่านั้น ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล ข้าวขาวมะลิ 105 เป็นข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ในขณะที่ข้าวปทุมธานีเป็นข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง

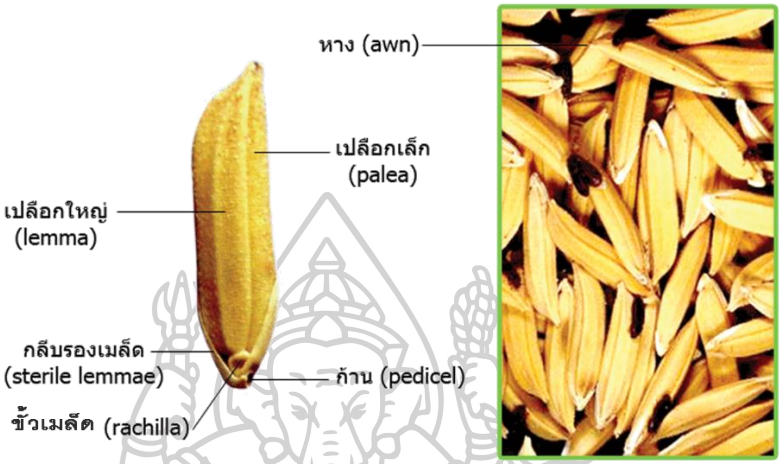
การแบ่งชนิดข้าวตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร แบ่งได้เป็นข้าวเมล็ดสั้น (short grain) ความยาวของเมล็ดไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 5.51 ถึง 6.60 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาว (long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 6.61 ถึง 7.50 มิลลิเมตร และข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 7.51 มิลลิเมตรขึ้นไป

นอกจากนั้นแล้วยังสามารถแบ่งตามฤดูปลูก ได้แก่ ข้าวนาปีหรือข้าวนาน้ำฝน คือข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้น ล่าสุดไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์ ข้าวนาปรังคือข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ในบางท้องที่จะเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในท้องที่ ที่มีการชลประทานที่ดี เช่นในภาคกลาง

2.3.2 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าว เก็บเกี่ยวในรูปของข้าวเปลือก หรือในทางพฤกษศาสตร์เรียก spikelet เมล็ดข้าวจากพันธุ์ต่าง ๆ จะมีรูปร่างของเมล็ดข้าวแตกต่างกันออกไป แต่โครงสร้างหลักจะเหมือนกัน มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดียวชนิดลอยตัว (superior ovary) ของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกย่อย ที่เกิดรวมกันอยู่เป็นช่อดอก ผลเดี่ยวนี้จะติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่ หรือ เยื่อหุ้มผล (pericarp) ซึ่งเมื่อผลสุกหรือแก่จะเป็นผลแห้ง (dry fruit) ที่ไม่แตก (indehiscent fruit)

เรียกว่า เมล็ด (caryopsis grain) ที่มีเยื่อหุ้มผล และเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) เชื่อมรวมกันอย่างแนบแน่นโดยตลอดผลหรือเมล็ดข้าว จะมีลักษณะแตกต่างตามพันธุ์ ในด้านขนาด รูปร่าง สี การมีหาง (awn) หรือไม่มีหาง และขน (pubescence) หรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง (hull หรือ husk) (ภาพที่ 9) (จำรัส, 2534; เครือวัลย์, 2536)



ภาพที่ 9 แสดงโครงสร้างหลักของเมล็ดข้าว
ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล (2547)

ส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนของเมล็ดข้าวคือ (1) ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ด (หรือผล) เรียกว่าแกลบ (hull หรือ husk) และ (2) ส่วนเนื้อผลหรือผลแท้ (true fruit หรือ caryopsis grain) หรือข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice)

1. แกลบ ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) ขนหางขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (pedicel)

1.1. เปลือกใหญ่ เป็นเปลือกหุ้มเมล็ดเนื้อผลด้านท้อง (dorsal side) จะมีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะมีรอยเส้น (nerves) ความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้าน ในลักษณะขบอยู่ด้านบนอย่างแน่น

1.2. เปลือกเล็ก เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง (ventral side) มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาวทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น รอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กอาจทำให้ข้าวกล้องเป็นรอยเส้นตามไปด้วย ในข้าวบางพันธุ์ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดขาว (polishing) แล้วยังอาจมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสาร เรียกว่า สาแหรกข้าว

1.3. ขน จะขึ้นบนเปลือกใหญ่ และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขน แต่เป็นส่วนน้อย ขนนี้คือส่วนของเซลล์ผิวนอก (epidermal cell) ที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการ

ระเหยน้ำ ป้องกันอันตรายของเมล็ดจากสภาวะภายนอก และเพื่อกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยช่วยให้เมล็ดติดไปกับคน สัตว์หรือสิ่งของต่าง ๆ ที่มีโอกาสสัมผัสเมล็ดจนทำให้เมล็ดหลุดติดไป

1.4. หาง เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเป็นตำแหน่งยอดดอก (apiculus) ในบางพันธุ์อาจสั้นหรือยาวหรือไม่มี ทำหน้าที่ในการกระจายพันธุ์คล้ายขน

1.5. ขั้วเมล็ด เป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

1.6. กลีบรองเมล็ด เป็นกลีบเล็ก 2 กลีบอยู่ตรงข้ามกันใต้สุดของเมล็ด

2. ข้าวกล้องหรือเนื้อผล ประกอบด้วย

2.1. เยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกมีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มเมล็ดอยู่ภายในมีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีและรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่นน้ำตาลอ่อน, น้ำตาลแก่, น้ำตาลแดง, น้ำตาลม่วง, น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญ ในชั้นเยื่อหุ้มผลนี้แบ่งย่อยได้เป็น 3 ชั้นย่อยคือ

1. เอพิคาร์พหรือเอกโซคาร์พ (epicarp หรือ exocarp) เป็นผิวหรือผนังหรือเปลือกที่อยู่นอกสุดมีลักษณะเรียบ เหนียว และเป็นมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว

2. เมโซคาร์พหรือไฮพอเดิร์ม (mesocarp หรือ hypoderm) เป็นผนังของผลชั้นกลาง

3. เอนโดคาร์พ (endocarp) เป็นเนื้อเยื่อชั้นใน

2.2. เยื่อหุ้มเมล็ด อยู่ถัดจากเยื่อผลเข้ามาประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปยาวเรียงตามขวางและมีผนังบางกัน (หนาประมาณ 0.5 ไมครอน) ภายในเซลล์มีไขมันและสารสีเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผลทำให้ข้าวกล้องมีสี

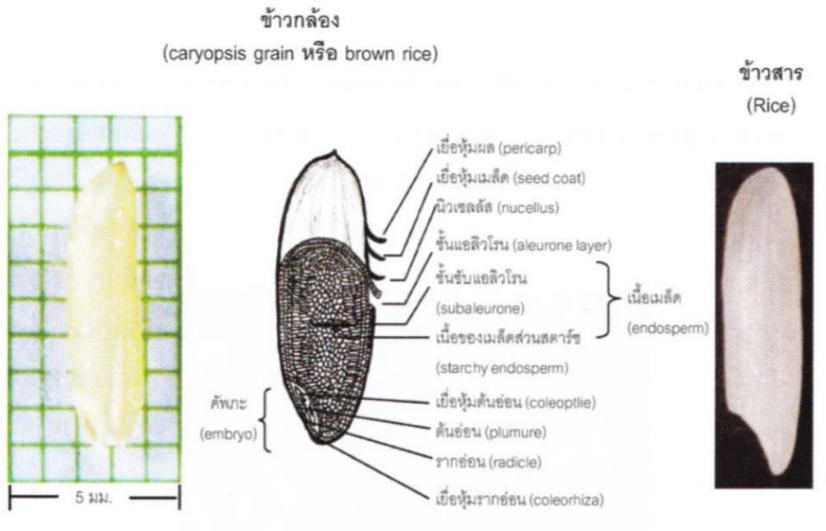
2.3. นิวเซลลัส (necellus) เป็นเซลล์ที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด พันธะระหว่างนิวเซลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกออกจากกันได้ง่ายมีความหนาประมาณ 0.8 ถึง 2.5 ไมครอน

2.4. เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดประกอบด้วยเซลล์ 1 ถึง 7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อมสั้นจะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น เซลล์แอลิวโรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ดลงมาถึงจุดเชื่อมระหว่างใบเลี้ยงกับเยื่อหุ้มรากอ่อน ซึ่งอยู่ข้างในของเมล็ดจึงแบ่งลักษณะของเซลล์แอลิวโรนเป็น 2 ลักษณะ คือ เซลล์ส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อของเมล็ดจะมีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ และมีไซโทพลาซึม (cytoplasm) อยู่หนาแน่น ในเซลล์ยังมีกลุ่มโปรตีนที่มีรูปร่าง (protein bodies) กลุ่มไขมัน (lipid bodies) และสารอื่น ๆ เช่นนิวเคลียส, ไมโครบอดี, ไมโทคอนเดรีย, เอนโดพลาสติกเรทิคิวลัม, เวสิเคิล และพลาสทิด เป็นต้น ส่วนเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะจะบาง มีไซโทพลาสซึมน้อย รูปร่างยาว มีกลุ่มไขมัน และ

กลุ่มโปรตีนน้อยมีเวสิเคิลมาก เป็นต้น ส่วนผนังเซลล์จะมีโปรตีน, เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ประกอบอยู่

2.5. คัพภะ หรือเชื้อชีวิต จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ส่วนท้องของเมล็ด มีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน, ต้นอ่อน, เยื่อหุ้มรากอ่อน, เยื่อหุ้มต้นอ่อน, ท่อน้ำท่ออาหาร และใบเลี้ยง ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันในส่วนต่าง ๆ

2.6. เนื้อเมล็ดหรือเนื้อข้าว (endosperm) มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณร้อยละ 80 ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนชั้นซับแอลิวโรน (Subaleurone layer) เป็นเซลล์ 2 ชั้นอยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด (starchy endosperm) ในชั้นซับแอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด 1 ถึง 2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5 ถึง 0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกัน (ขนาด 2 ถึง 3.5 ไมครอน) แต่ในส่วนเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีน ในลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช อยู่ภายในเซลล์พาเรนไคมา ที่มีผนังเซลล์บาง มีรูปร่างรี หรือสี่เหลี่ยมเข้าสู่ใจกลางเมล็ด โดยด้านนอกของเมล็ดจะรี และยาวมากกว่าด้านในของเมล็ด (ภาพที่ 10) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)



ภาพที่ 10 ส่วนประกอบของข้าวกล้อง (brown rice) และข้าวสาร (milled rice)
ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล (2547)

สัดส่วนของโครงสร้างเมล็ดข้าว

จากโครงสร้างของเมล็ดข้าว ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ แกลบ และข้าวกล้อง เมื่อเปรียบเทียบส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) 100% จะมีสัดส่วน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนโครงสร้างของเมล็ดข้าว

โครงสร้างเมล็ด	สัดส่วน	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วงของสัดส่วน
ข้าวเปลือก	100	-
แกลบ	20	16-28
ข้าวกล้อง	80	72-84
ข้าวกล้อง	100	-
เยื่อหุ้มผล	1.5	1-2
เยื่อหุ้มเมล็ด	5	4-6
คัพภะ	3	2-3
เนื้อเมล็ด	90.5	89-94
คัพภะ	3	-
รากอ่อน	0.18	-
ต้นอ่อน	0.34	-
เยื่อหุ้มรากอ่อน	0.18	-
ใบเลี้ยง	1.29	1.18-1.40
ท่อน้ำ ท่ออาหาร	0.26	-
อื่น ๆ	0.75	-

ที่มา: เครือวัลย์ (2536) ; Juliano (2016)

ในสัดส่วนของน้ำหนักข้าวเปลือก 100% จะเป็นส่วนของแกลบประมาณ 20% และข้าวกล้อง 80% เมื่อเทียบน้ำหนักข้าวกล้องให้เป็น 100% จะเป็นสัดส่วนของเยื่อหุ้มชั้นต่างๆรวมประมาณ 6.5% ส่วนของคัพภะ 3% และเนื้อเมล็ดประมาณ 90.5% ในส่วนของคัพภะจะประกอบด้วยใบเลี้ยงมากที่สุด (1.18-1.4%) ซึ่งสัดส่วนต่างๆในข้าวเปลือกนี้มีผลต่อกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสารในด้านปริมาณผลผลิตที่ได้

องค์ประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนไม่เฉพาะ แต่ในส่วนเนื้อข้าวหรือเนื้อเมล็ดซึ่งใช้ประโยชน์ในรูปของข้าวสารข้าวท่อน (ข้าวหัก) ข้าวกล้องและสามารถนำไปแปรรูปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารหลากหลาย นั่นคือนำไปผลิตเป็นแป้งข้าว ส่วนของแกลบสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล รำข้าว และ คัพภะ สามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันเป็นต้น

ผลของโครงสร้างต่อกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือก

การแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร เริ่มจากความพยายามที่จะกะเทาะเปลือกแข็งออกจากเมล็ดให้ได้เป็นแกลบและข้าวกล้อง แรงที่ใช้ในการกะเทาะเปลือกแข็งซึ่งประกอบด้วยเปลือกใหญ่ที่ขบเปลือกเล็กทั้ง 2 ข้างไว้ จะมากหรือน้อยเป็นผลจากความแน่นหนาของเปลือกที่ขบกันอยู่ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ถึงแม้ว่าการขบกันแน่นของเปลือกทั้งสองจะมีผลดีต่อการป้องกันอันตรายให้เนื้อของเมล็ดภายในปลอดภัยจากการเสื่อมเสีย โดยการป้องกันความชื้น การกัดแทะของมอด และแมลงต่างๆได้ดี แต่ก็อาจเป็นผลเสียในการใช้แรงเพื่อกะเทาะเปลือกมากขึ้น เมื่อกะเทาะเปลือกของ

ข้าวเปลือกออกแล้วจะได้แกลบ และข้าวกล้อง ในการขัดสีผิวข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาว ได้เป็นรำ (bran) ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเซลลัส ชั้นแอลิวโรน และ คัพภะ รวมเป็นน้ำหนักประมาณ 10% ของน้ำหนักข้าวกล้องก่อนขัดสี รำนี้จะมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อทำการขัดมันต่อไปจะมีส่วนของรำที่หลงเหลือบางส่วน ชั้นซับแอลิวโรนหลุดออกมาบางส่วน และเนื้อของเมล็ดบางส่วน รวมเรียกส่วนที่ได้จากการขัดมันนี้ว่า รำขาว (white bran หรือ polish) มีน้ำหนักประมาณ 2-3% ของข้าวกล้อง ในขั้นนี้จะได้ข้าวสาร และรำละเอียด

ลักษณะของข้าวกล้องจะมีผิวเมล็ดไม่เรียบ สีน้ำตาลเนื่องจากสารสีที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ด มีคัพภะติดอยู่ด้านท้องของเมล็ด ส่วนข้าวสารจะมีสีขาว ขนาดเล็กกว่าข้าวกล้องเล็กน้อย ไม่มีคัพภะติดอยู่ ส่วนที่คัพภะหลุดไปแล้ว เรียกว่า จมูกข้าว ส่วนที่ได้ในขั้นขัดผิวข้าวจะมีสีน้ำตาลเข้ม และที่ได้จากขั้นขัดมันจะมีสีขาว ส่วนข้าวสารมีผิวเรียบ มัน อาจมีสีขาวใส (ข้าวเจ้า) หรือสีขาวขุ่น (ข้าวเหนียว) ขึ้นอยู่กับลักษณะของพันธุ์ข้าว

2.3.3 กรรมวิธีการสีข้าว

เนื่องจากข้าวที่นิยมบริโภคเป็นข้าวขาวที่มีข้าวหักน้อย การนำมาบริโภค จึงต้องผ่านขบวนการขัดสีเสียก่อน การสีข้าวประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน ตามลำดับ (ภาพที่ 11) คือ

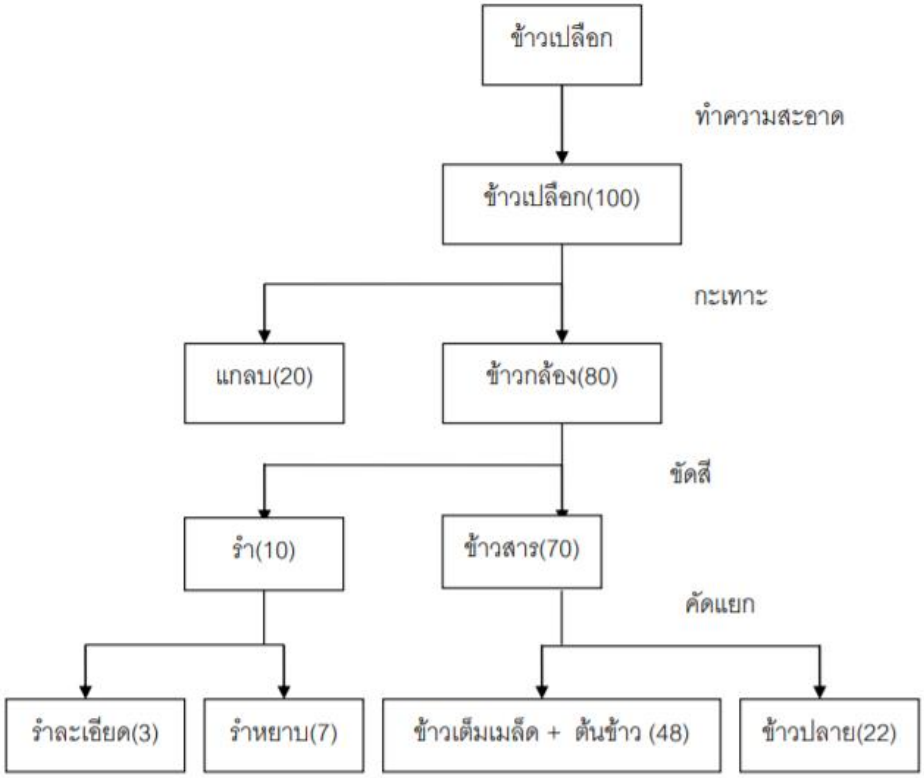
การทำความสะอาด (cleaning) เพื่อกำจัดแกะ ใบข้าว เมล็ดลีบ กรวด หิน ดินทราย เมล็ดวัชพืช และสิ่งสกปรกอื่นๆ ออกจากข้าวเปลือก โรงสีทั่วไปมักใช้ตระแกรงโยก 2 ชั้น แยกสิ่งที่เบาขนาดใหญ่และวัสดุขนาดเล็กออกจากข้าวเปลือก โดยใช้แรงสั่นสะเทือน สำหรับเศษเหล็กแยกออกโดยใช้แม่เหล็ก

การกะเทาะ (shelling หรือ husking) เพื่อให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้รับในขั้นตอนนี้ คือ แกลบ (hull or husk) และข้าวกล้อง (brown rice , cargo rice ,caryopsis) ระบบกะเทาะอาจเป็นระบบลูกยาง หรือระบบจาน แกลบและข้าวกล้องจะถูกแยกออกจากกันโดยผ่านตะแกรงทรงกลม 2 ชั้น มีลมดูดแกลบออกจากข้าวกล้อง การหมุนของ ตะแกรงจะช่วยแยกปลายข้าวกล้องและรำที่เกิดจากการลอกของผิวเมล็ดออก ข้าวกล้องที่สะอาดจะถูกส่งไปยังเครื่องขัดขาวต่อไป

การขัดขาว (whitening , scouring or pearing) เพื่อทำให้รำหลุดร่วงออกจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้รับในขั้นนี้คือ รำ (bran) และข้าวสารหรือข้าวขาว (total milled rice or milling recovery) เครื่องขัดขาวอาจใช้ระบบหินขัด หรือการเสียดสีระหว่างเมล็ดข้าว รำที่ถูกขัดหลุดออกจะแยกโดยใช้ลมเป่า สำหรับข้าวขาวที่ได้จะมีทั้งข้าวเต็มเมล็ด และข้าวหักขนาดต่างๆ ปะปนอยู่

การคัดแยก (grading or separating) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหักขนาดต่างๆ ออกจากกัน โดยใช้ตะแกรงโยก และตะแกรงหลุมรูปทรงกระบอก สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่ แกลบมีอยู่ประมาณ 20 – 24 % ของข้าวเปลือก รำ 8 -10% ข้าวสารหรือข้าวขาวประมาณ 68 – 70%

เป็นส่วนที่นำมาบริโภค ในส่วนนี้จะประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก (กลุ่มส่งเสริมพัฒนาธุรกิจด้านพืชและผลิตภัณฑ์, 2549)



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการสีข้าวและสัดส่วนขององค์ประกอบของเมล็ดข้าวจากการขัดสี
ที่มา: กลุ่มส่งเสริมพัฒนาธุรกิจด้านพืชและผลิตภัณฑ์ (2549)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบเถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักนอกจากนี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหารและโภชนาการ ได้แก่ วิตามินแร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโน ที่มีในโปรตีนของข้าว ดังตารางที่ 2 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

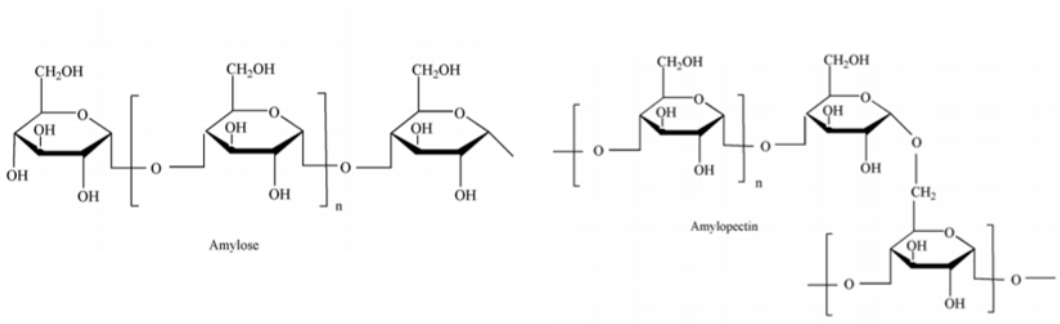
ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนะของ ข้าวกล้อง ข้าวขัดสี รำข้าว และแกลบ

โภชนะ	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดสี	รำข้าว	แกลบ
Moisture (g)	14.0	14.0	14.0	
Energy content (kcal)	1480–1610	1460–1560	1670–1990	1110-1390
Crude protein (g)	7.1–8.3	6.3–7.1	11.3–14.9	3.1-3.5
Crude fat (g)	1.6–2.8	0.3–0.6	15.0–19.7	0.2
Crude fiber (g)	0.6–1.0	0.2–0.5	7.0–11.4	44.1-47.0
Crude ash (g)	1.0–1.5	0.3–0.8	6.6–9.9	13.2-16.1
Available carbohydrates (g)	73–87	77–89	34–62	22-34
Starch (%)	66.4	77.6	13.8	1.5
Total dietary fiber (g)	2.9–4.4	0.7–2.7	24–29	-
Water-insoluble fiber (g)	2.0	0.5	15–27	-
Neutral detergent fiber (%)	2.9-3.9	0.7-2.3	23.7-28.6	68.0-77.1
Hemicellulose (%)	-	0.1	15.32-15.5	2.9-11.8
Cellulose (%)	-	-	31.1-35.4	31.4-36.6
Sugars (g)	0.8–1.9	0.1–0.5	5.5–6.9	0.6
Thiamin (mg)	0.4–0.6	0.07–0.17	1.2–2.5	0.9-2.1
Riboflavin (mg)	0.04–0.14	0.02–0.06	0.18–0.43	0.5-0.7
Niacin (mg)	3.5–6.2	1.3–2.5	27–50	16-42
Pantothenic acid (mg)	1.4–1.6	0.8–1.3	20–60	-
Vitamin B6 (mg)	0.5–0.7	0.1–0.4	3.7	-
Folate (mg)	16–20	4–9	40–140	-
Vitamin E, a-tocopherol (mg)	0.8–2.5	0.1–0.3	3–15	-
Calcium (mg)	10–50	10–30	30–120	0.6-1.3
Phosphorus (mg)	0.17–0.43	0.08–0.15	1.1–2.5	0.3-0.7
Phytic acid P (mg)	0.13–0.27	0.02–0.07	0.9–2.2	0
Iron (mg)	1.4–5.2	0.3–0.8	8.6–43	3.9-9.5
Zinc (mg)	1.9–2.8	0.8–2.3	4.3–26	0.9-4

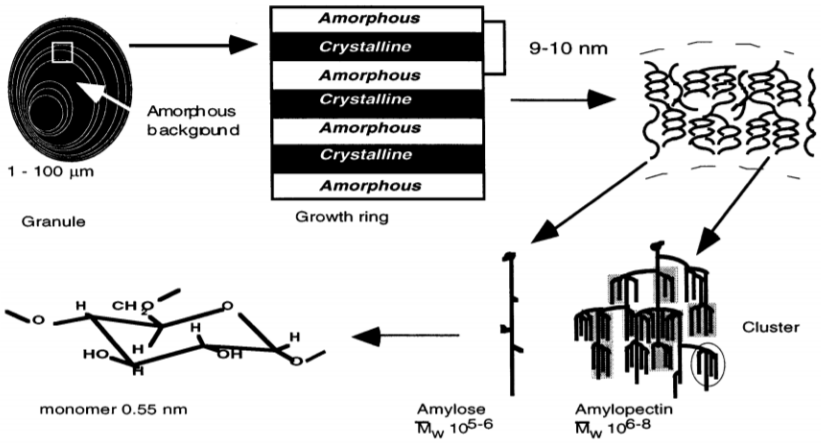
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก (Champagne et al., 2004; Juliano and Bechtel, 1985; Muthukumarasamy et al., 2015; Sunphorka et al., 2012)

องค์ประกอบที่พบมากที่สุดในเมล็ดข้าว คือ คาร์โบไฮเดรตโพลิแซกคาไรด์ ประเภทสตาร์ช (starch) โดยโมเลกุลของสตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granules) มีขนาดประมาณ 3-5 ไมครอน ซึ่งถือว่าเล็กที่สุดในกลุ่มธัญพืช รูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม เม็ดสตาร์ชของข้าวรวมตัวกันอยู่ในอะไมโลพลาส หรือคลอโรพลาสของเซลล์

โมเลกุลของสตาร์ช ประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะ ได้แก่ อะไมโลเพกติน และอะไมโลสโดยอะไมโลเพกติน เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส มีโครงสร้างโมเลกุลเหมือนกิ่งไม้ ประมาณร้อยละ 96 ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา -1,4 และที่เหลือต่อกันด้วยพันธะแอลฟา -1, 6 ในขณะที่อะไมโลส เป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสแบบเชิงเส้นต่อกันด้วยพันธะแอลฟา -1, 4 (ภาพที่ 12) โดยในธรรมชาติอะไมโลส และ อะไมโลเพกติน จะจัดเรียงตัวกันแน่นในโมเลกุลของสตาร์ชเป็นรูปวงแหวน ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นกึ่งสัณฐาน (semi-crystalline) และอสัณฐาน (amorphous) (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 12 โครงสร้างโมเลกุลของ amylose และ amylopectin
ที่มา: Ismail et al. (2013)



ภาพที่ 13 โครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชที่มีอะไมโลส และอะไมโลเพกตินจัดเรียงตัวกันแน่น
ที่มา: Buléon et al. (1998)

2.4 รำละเอียด

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการขัดขาว มีประมาณร้อยละ 10.5 ของข้าวเปลือก ลักษณะของรำเป็นผงละเอียดสีเหลืองปนน้ำตาล รำข้าวและส่วนที่ได้จากการขัดสีได้มาจากเนื้อเยื่อชั้นนอกของ

เมล็ดข้าว ที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อชั้นนอกรวมถึงเยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มของเอนโดสเปิร์ม นิวเซลลัส (nucellus) เยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone layer) จมูกข้าวบางส่วนของเยื่อชั้นในสุด (subaleurone) และบางส่วนของเนื้อสตาร์ช (starchy endosperm) (Lone et al., 2003) มีคุณค่าทางโภชนะดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงคุณค่าทางโภชนะของรำละเอียด

องค์ประกอบ	รำละเอียด (%)
Moisture content	9.1
Total oil	20.2
Crude protein	12.7
Crude fiber	7.3
Cellulose	15.5
Hemicellulose	31.1
Lignin	11.5

ที่มา: Sunphorka et al. (2012)

รำข้าวจัดเป็นวัตถุดิบราคาถูกที่ส่วนใหญ่นำไปใช้เลี้ยงสัตว์ และบางส่วนนำไปสกัดเป็นน้ำมัน แต่การนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นยังไม่มากนัก รำข้าวประกอบด้วยชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด (Kernel) ชั้นต่างๆและจมูกข้าว (germ) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงที่สุดของข้าว รำข้าวประกอบไปด้วยสารอาหารต่างๆที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 31.1-52.3) ไขมัน (ร้อยละ 15.0-19.7) โปรตีน (ร้อยละ 12.0-15.0) เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ 7.0-11.4) จากองค์ประกอบดังกล่าว ทำให้รำข้าวมักจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว หรือถูกนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ และในบางครั้งก็มีการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากกากรำข้าวที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตาม รำข้าวที่เหลือยังมีคาร์โบไฮเดรตและเยื่อใยอยู่มาก ที่ประกอบไปด้วยอะราบิโนไซแลนเฮมิเซลลูโลส (Arabinoxylan Hemicellulose) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์และผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงได้นอกจากนี้รำข้าวยังอุดมไปด้วยวิตามิน (Rohrer and Siebenmorgen, 2004)

โครงสร้างของอะราบิโนไซแลน (Arabinoxylan structure) จากการศึกษาในระดับโครงสร้างของรำข้าว อะราบิโนไซแลนเป็นสารประกอบโพลิแซคคาไรด์ประเภทเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชส่วนของผนังบาง ๆ ที่ห่อหุ้มเซลล์เม็ดแป้ง (starchy endosperm) และส่วนของเนื้อเยื่อชั้น aleurone ของข้าวประกอบไปด้วยอะราบิโนไซแลน 40% (Izydorczyk and Biliaderis, 1995) อะราบิโนไซแลนจากรำข้าวมีโครงสร้างซับซ้อนกว่าที่พบในรำข้าวสาลี (Shibuya and Iwasaki, 1985) โครงสร้างของอะราบิโนไซแลนที่พบในธัญพืชประกอบด้วย

สายหลักของไซแลน (xylan) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลส (D-xylopyranosyl residues; Xylp) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 8 (1, 4) โดยมี a-L-arabinofuranose (น้ำตาลอะราบิโนส) มาจับเป็นกิ่งก้านของสายหลักไซแลน โดยเข้าจับที่พันธะตรงตำแหน่ง 0-2 และ / หรือ 0-3 ของน้ำตาลไซโลส อัตราส่วนของอะราบิโนสต่อไซโลส (arabinose to xylose ratio; A / X) ในโมเลกุลอะราบิโนไซแลนมักถูกนำมาใช้อธิบายคุณลักษณะโครงสร้างอย่างคร่าว ๆ ของอะราบิโนไซแลน ในลักษณะการเข้าแทนที่น้ำตาลไซโลสในสายหลักด้วยน้ำตาลอะราบิโนส (substitution pattern) (Ordaz-Ortiz et al., 2005)

2.5 เยื่อใยในอาหารสัตว์

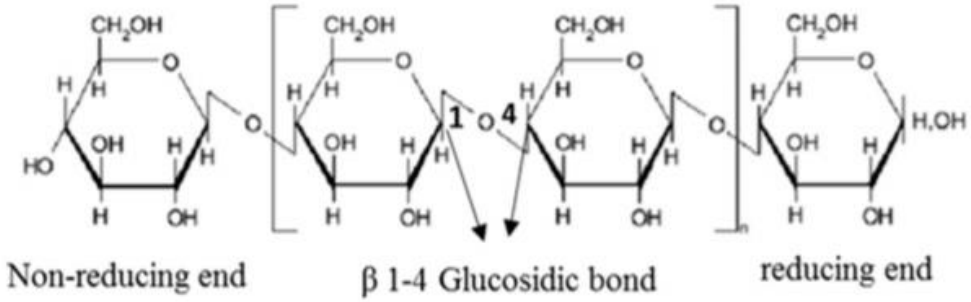
เส้นใยอาหารคือ ส่วนของผนังเซลล์พืชที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอมไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว ซึ่งมีจุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่ สามารถย่อยส่วนประกอบบางส่วนของใยอาหารได้ แม้ว่าใยอาหารจะไม่ใช่สารอาหาร และไม่ได้ให้พลังงานแก่ร่างกาย แต่ก็ยังมีบทบาทที่สำคัญต่อโภชนะ และสุขภาพของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ช่วยให้ระบบทางเดินอาหารและระบบขับถ่ายทำงานปกติ ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเส้นใยนั้นเป็นน้ำตาลโมเลกุลเชิงซ้อนที่เรียกว่า “สารโพลีแซคคาไรด์” (Polysaccharide) (Ivarsson et al., 2011) ที่ประกอบไปด้วยโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส กัม เพคติน และมิวซิเลจส์เป็นเป็นองค์ประกอบหลัก รวมถึงสารประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ลิกนิน จึงสามารถแบ่งเส้นใยออกเป็น 2 ชนิดตามความสามารถการละลายน้ำได้ คือ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้กับละลายน้ำไม่ได้ โดยผลรวมของทั้งสองชนิดเรียกว่าใยอาหารทั้งหมด (Zhang et al., 2013) อาหารสำเร็จรูปของไก่เนื้อที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด เป็นอาหารข้นที่มีส่วนประกอบของเยื่อใยไม่เกิน 18% อาหารเหล่านี้เมื่อไก่กินเข้าไปแล้ว ไก่จะสามารถย่อยด้วยเอนไซม์ในร่างกายได้ไม่เกิน 10% ของอาหารเยื่อใย (Roberfroid, 1997) ซึ่งถือได้ว่ามีการย่อยได้ที่ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากไก่ไม่มีเอนไซม์ที่ช่วยย่อยเยื่อใยในอาหารได้ดีพอ ทำให้เกิดการสูญเสียอาหารออกมากับมูล ผลที่เกิดขึ้นคือ ไก่จะมีอัตราการกินได้สูงแต่มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ในปัจจุบันจึงมีการนำเอนไซม์ย่อยเยื่อใยมาเสริมในอาหารไก่เนื้อ พบว่าสามารถเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะ และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของไก่ได้ดีขึ้น เอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่นิยมใช้ได้แก่ เซลลูเลส, ไซแลนเนส และเฮมิเซลลูเลส (Bedford, 1996)

ประเภทของเส้นใยอาหาร

การแบ่งประเภทของเส้นใยอาหารสามารถแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.5.1 ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน คิวติน และแวกซ์

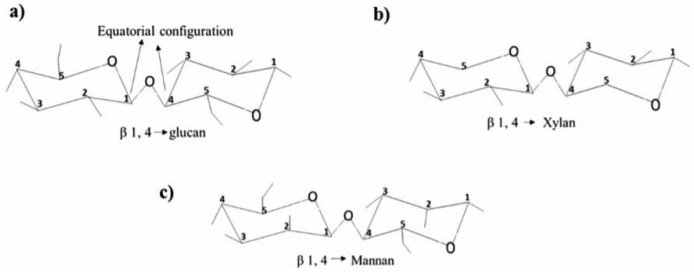
เซลลูโลส (cellulose) เป็นสายพอลิแซคคาร์ไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของ น้ำตาลกลูโคสที่ต่อแบบ β1, 4 เป็นส่วนประกอบโครงสร้างหลักของพืชทั่วไป โดยเฉพาะผนังเซลล์ ของพืชชั้นสูง ในอาหารจำพวกผักและธัญพืชมีปริมาณเซลลูโลส 20-50% ของน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา: Rajinipriya et al. (2018)

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) โครงสร้างหลักประกอบด้วยกลุ่มของน้ำตาลหลายชนิด โดยน้ำตาลกลุ่ม ใหญ่ที่สุดเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัวเช่น น้ำตาลไซโลส (Xylose) นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลุ่มอื่นที่ต่ออยู่กับโครงสร้างหลัก เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลอะราบิโนส (Arabinose)และกรดกลูคูโรนิก 10 (Glucuronic acid) Scheller and Ulvskov (2010) ได้รายงานว่าโครงสร้างภายในส่วนใหญ่ของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยไซโลกลูแคน (Xyloglucan)ไซแลน (Xylan) แมนแนน (Mannans) กลูโคแมนแนน (Glucomannan) และ β1, 3 หรือ β1, 4 กลูแคน (Glucan) ความแตกต่างของเฮมิเซลลูโลส กับเซลลูโลส คือ เฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายด่างอ่อน ในขณะที่เซลลูโลสไม่สามารถละลายได้ ในพืชพบเฮมิเซลลูโลสอยู่ร่วมกับเพกติน เซลลูโลส หรือลิกนิน โดยแทรกอยู่ในชั้นของผนังเซลล์ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส (a) β-1,4-glucan, (b) β-1,4-xylan, and (c) β 1,4-mannan

ที่มา: Malladi et al. (2018)

ลิกนิน พบในพืชจำพวกไม้เนื้อแข็ง เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีรูปร่างเป็นวงแหวน เช่น ซินนามิล (Cinnamyl) ไซริงจิล (Syringyl) กัวไอซิล (Guaicyl) หน้าที่ของลิกนินจะช่วยให้ความแข็งแรงและทนต่อการย่อยสลาย โดยแบคทีเรีย

คิวตินและแวกซ์ พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช โดยมีองค์ประกอบของ ไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในประมาณที่น้อย (ไพโรจน์ และ เบญจวรรณ, 2538)

เยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการเพิ่มอัตราการไหลผ่านของอาหาร โดยเยื่อใยชนิดนี้เมื่อดูดน้ำแล้วจะพองตัว ทำให้อาหารไหลผ่านเร็วขึ้น ส่งผลให้เอนไซม์จากสัตว์ไม่สามารถ ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามหากได้รับเยื่อใยชนิดนี้ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มการพัฒนากึ๋น ทำให้การบดอาหารดีขึ้น ช่วยลดอนุภาคอาหารก่อนเข้าสู่ลำไส้เล็กรวมถึง มีผลต่อการควบคุมด้านสรีรวิทยาของระบบทางเดินอาหาร เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่หรือการไหล ของอาหาร (Refluxes) และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหลั่งสารต่าง ๆ ในลำไส้ เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดน้ำดี และเอนไซม์เป็นต้น(Hetland and Svihus, 2001; Mateos et al., 2012; Michard and Nutritionist, 2011)

2.5.2 ใยอาหารชนิดละลายในน้ำ (Soluble dietary fiber) ประกอบด้วยเพกติน เบต้ากลูแคน กัมชนิดต่าง ๆ

เพกติน โครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่ต่อกันแบบ α1, 4 โดยมีน้ำตาลหลายชนิดที่อยู่รวมกันในโครงสร้างหลัก เช่น น้ำตาลกาแล็กโทส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแรมโนส น้ำตาลอะราบิโนส การละลายน้ำของเพกตินขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ของกรดกาแล็กทูโรนิกเพกตินสามารถพบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม ฝรั่ง และแอปเปิ้ล เป็นต้น

β-กลูแคน ประกอบด้วยสายของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบ β1, 3 และ β1, 4 คุณสมบัติโดยทั่วไปไม่สามารถละลายน้ำ โดยมีเพียงส่วนน้อยสามารถละลายน้ำ พบได้ในข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์ ข้าวบาร์เลย์

กัมชนิดต่าง ๆ เช่น

-วุ้น (Agar) เป็น มิวซิเลจ (Mucilage) ที่ผลิตได้จากสาหร่ายซึ่งมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย Sulfanoated polymer ของ Anhydrogalactose น้ำตาลกาแล็กโตสที่อยู่ในรูป D และ L น้ำตาลไซโลส

-แอลจีเนต (Alginate) สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล โครงสร้างประกอบด้วยสายพอลิ เมอร์ของกลูคูโรนิก และกรดแอนไฮโดรแมนนูโลนิก (Anhydromanulonic acid) โดยทั่วไปจะอยู่ใน รูป

ของเกลือโซเดียม เกลือโพแทสเซียม หรือเกลือแมกนีเซียม ทำให้สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำ ร้อน และน้ำ เย็น

-กัมอะราบิก (Arabic gum) สกัดได้จากต้นอะคาเซีย (Acacia) มีองค์ประกอบที่เป็น น้ำตาล หลัก ๆ คือ น้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลกาแล็กโตส น้ำตาลแรมโนส และกลูคูโรนิก

-คาราจิแนน (Carrageenan) เป็นเยื่อใยที่มีลักษณะของโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ ของ Sulfanoatedgalactaose

-กัวร์กัม (Guar gum) สกัดมาจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดถั่ว ที่พบในประเทศอินเดีย และปากีสถาน ประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของน้ำตาลแมนโนสเป็นโครงสร้างหลักและมีน้ำตาลกาแล็กโตสเป็นสาขาเกาะอยู่ที่โครงสร้างหลัก ลักษณะโดยทั่วไป ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้ ดีในน้ำร้อน และน้ำ เย็น

-แซนแทนกัม (Xanthan gum) พบในแบคทีเรียชื่อ Xanthomonascampertris โดยเกิดจากปฏิกิริยาของหมู่อะซิทิลและหมู่ไพรูเวทในน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโนส และกรดกลูคูโรนิก นอกจากนี้ยังมีอินเดียนกัม คารายากัมโลคัสบีนกัม ไซเลียมซีดกัม (Psyllim seed gum) เป็นต้น และยังพบว่ามีเฮมิเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายน้ำ ได้ด้วยแต่มีปริมาณน้อย (ไพโรจน์ และ เบญจวรรณ, 2538)

เยื่อใยชนิดละลายน้ำ มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้ เกิดการพองตัวเป็นเหมือนกับวุ้นหรือเจลส่งผลให้อาหารที่สัตว์ได้รับอยู่ในทางเดินอาหารนานขึ้นเนื่องจากอาหารเกิดยึดเกาะกันแน่นและหนืด (บุญล้อม, 2546) ทำให้สัตว์มีความอิ่มนานกินอาหารได้น้อย และเยื่อใยที่พองเป็นวุ้นยังส่งผลทำให้เอนไซม์จากทางเดินอาหารเข้าไปทำปฏิกิริยากับอาหารไม่ได้ แม้ว่าอาหารบางส่วนจะถูกย่อย แต่สัตว์ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากอาหารที่มีลักษณะเป็นเจลจะไปปกคลุมผนังของลำไส้เล็กทำให้ผนังมีลักษณะที่หนาขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ต่ำ ความหนืดของอาหารจะกระตุ้นให้ผนังของทางเดินอาหารหลั่งเอนไซม์เพิ่มขึ้น แต่เอนไซม์ดังกล่าวจะถูกใยอาหารที่ละลายในน้ำดูดซับไว้ และขับออกมาพร้อมมูลซึ่งเอนไซม์คือโปรตีนที่ร่างกายสัตว์สร้างขึ้น ทำให้สัตว์สูญเสียโปรตีนโดยใช่เหตุ ทำให้สัตว์ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของสัตว์

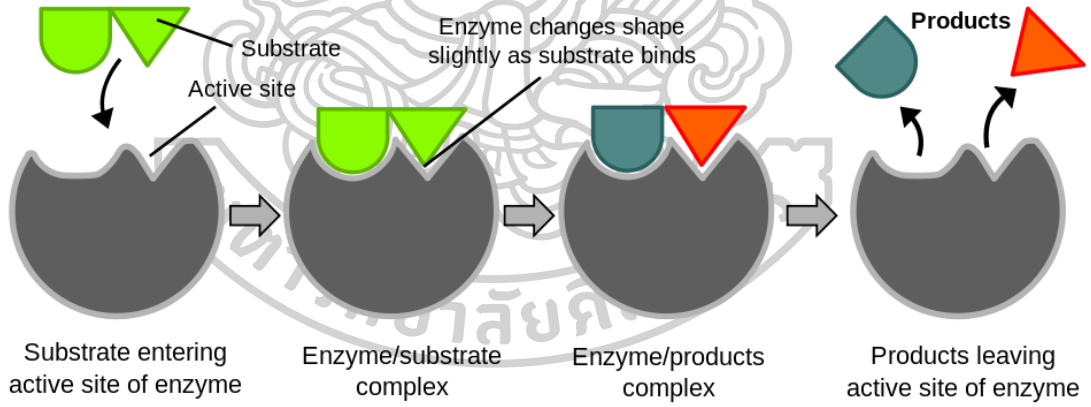
2.6 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์ คือกลุ่มของโปรตีนที่มีหน้าที่แตกต่างจากโปรตีนโดยทั่วไป มีหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี ทำงานได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับความชื้น ค่าความเป็นกรด ด่าง และอุณหภูมิเปรียบเทียบได้กับลูกกุญแจกับแม่กุญแจ เอนไซม์มีการทำงานเฉพาะจุดเพื่อที่เร่งปฏิกิริยาในส่วนนั้น ๆ (ภาพที่ 16) ในปัจจุบันพบว่าการเสริมเอนไซม์ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการ

ใช้ประโยชน์จากอาหารได้เพิ่มสูงขึ้น ลดการสูญเสียของอาหารที่ให้กับสัตว์ เอนไซม์ย่อยเยื่อใย (Fibrolytic enzyme) ที่ใช้ในอาหารไก่เนื้อ การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์ จำเป็นต้องทราบถึงชนิดของเยื่อใยหลัก ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบอาหารชนิดนั้น ๆ เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้ชนิดของเอนไซม์ได้ถูกต้อง จึงจะส่งผลดีต่อสัตว์ได้สูงสุด ลักษณะของเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.6.1 เอนไซม์ที่สัตว์สามารถผลิตได้ (Endogenous enzyme) คือการเสริมเอนไซม์ในกลุ่มที่สัตว์สามารถผลิตได้ แต่มีไม่เพียงพอ ส่วนใหญ่ทำการเสริมในสัตว์ที่อายุน้อยเนื่องจากสัตว์ยังมีพัฒนาการทางด้านระบบการย่อยอาหารที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากความหลากหลายของวัตถุดิบอาหารอาจส่งผลให้การย่อยได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เอนไซม์ในกลุ่มนี้เช่น เอนไซม์โปรตีเอส (Protease)และเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) เป็นต้น

2.6.2 เอนไซม์ที่ผลิตไม่ได้จากตัวสัตว์ (Exogenous enzyme) คือการเสริมเอนไซม์ในกลุ่มที่สัตว์ไม่สามารถผลิตได้ เพื่อเพิ่มการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เช่น การเสริมเอนไซม์ไฟเตส เพื่อย่อยฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไฟเตต เพื่อให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น หรือการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (NSP-degrading enzyme) เพื่อย่อยผนังเซลล์พืช ทำให้เกิดการปลดปล่อยโภชนะที่อยู่ภายในผนังเซลล์พืชออกมา เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และแร่ธาตุต่างๆ ออกมา

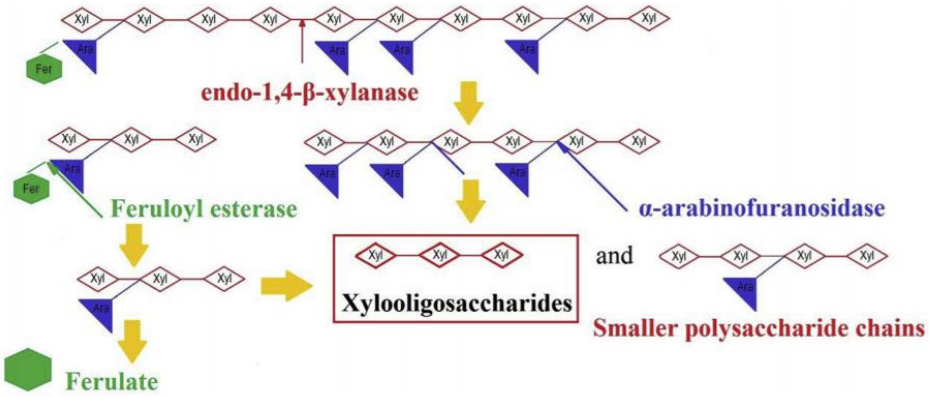


ภาพที่ 16 กลไกการทำงานของเอนไซม์แบบแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (Lock and key model)
ที่มา: Rajinipriya et al. (2018)

2.6.2.1 เอนไซม์ไซลาเนส (Endo-1, 4-β-xylanase)

เป็นเอนไซม์ที่ผลิตได้จากแบคทีเรีย หรือเชื้อรา ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรืออุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อีกทั้งเอนไซม์ไซลาเนสยังใช้เพื่อย่อยสลายของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม หรือของเสียในกลุ่มโอลิโกแซคคาร์ไรด์เพื่อนำมาใช้เป็น Functional food หรือการนำมาผลิตเป็นสารอาหารให้ความหวาน เช่น ไซลิทอล (Xylitol) ได้อีกทางหนึ่ง สำหรับการใช้เอนไซม์ไซลาเนสในทางอาหารสัตว์ ส่วนใหญ่ใช้เพื่อย่อยเยื่อใยในวัตถุดิบ

อาหารสัตว์ ทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น เอนไซม์ไซลาเนสเป็นเอนไซม์ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใยจำพวกเฮมิเซลลูโลสในส่วนของพันธะ β 1, 4 D xylosidic linkages ของไซแลนให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่าง ๆ หรือคาร์โบไฮเดรตสายสั้น ๆ ที่มีน้ำตาลหลาย ๆ ชนิดปนอยู่ เช่น น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนส เป็นต้น กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส ดังแสดงในภาพที่ 17โดยเอนไซม์ไซลาเนสเป็นเอนไซม์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาโดยการสลายพันธะ β 1,4 ของไซแลนตามตำแหน่งต่าง ๆ ของไซแลนที่พบในเฮมิเซลลูโลส (Biely et al., 1993; Coughlan et al., 1993; สุริยวงค์, 2556) เพื่อเป็นการปลดปล่อยไซโลโอลิโกแซคคาร์ไรด์สายสั้น (Short xylooligosaccharides) และโพลิแซคคาร์ไรด์สายสั้น (Smaller polysaccharide) ออกมา

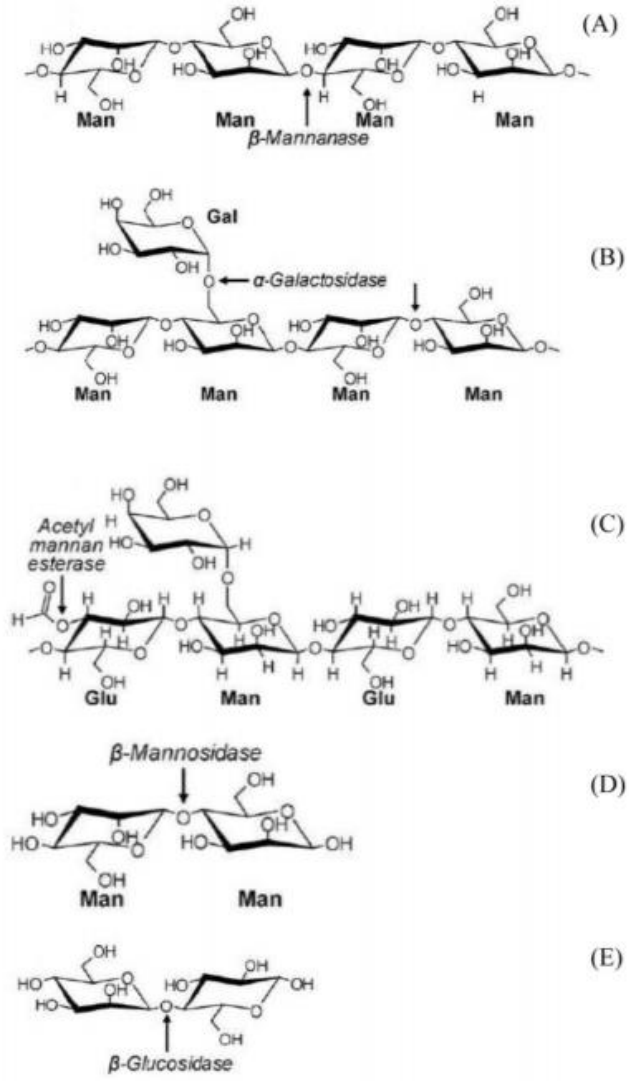


ภาพที่ 17 กลไกการทำงานของเอนไซม์ไซลาเนส
ที่มา: Rajinipriya et al. (2018)

2.6.2.2 เอนไซม์ย่อยสลายสารประกอบแมนแนน

สารประกอบแมนแนน ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสเป็นโครงสร้างสายหลักและอาจมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ในโครงสร้างด้วย ดังนั้นในการย่อยสลายสารประกอบแมนแนนอย่างสมบูรณ์ จึงจำเป็นตองใชเอนไซมอย่างน้อย 2 ชนิด ทำงานร่วมกัน (synergistic action) คือแมนนาเนส (EC 3.2.1.78, mannan endo-1,4-mannosidase) และแมนโนซิเดส (EC 3.2.1.25, exo-mannosidase) โดยเอนไซมทั้งสองชนิดเป็นเอนไซมหลักในการยอยสลายสารประกอบแมนแนนใหสมบูรณ นอกจากนั้นยังอาจพบแอลฟา-กลูโคซิเดส (α-glucosidase; EC3.2.1.21) แอลฟา-กาแลคโตซิเดส (α-galactosidase;EC 3.2.1.22) และอะซิติลแมนแนนเอสเทอรเรส (acetyl mannan esterase) ซึ่งเอนไซมทั้งสามชนิด ทำหนาที่ยอยสลายโซกิ่งหรือองคประกอบน้ำตาลชนิดอื่นที่มิใชน้ำตาลแมนโนส ตัวอย่างการย่อยสลายสารประกอบแมนแนนโดยเอนไซมในกลุ่มแมนนาเนส ดังแสดงในภาพที่ 18 แมนนาเนสเป็นเอนไซมไฮโดรเลสที่ย่อยสลายแบบสุมภายในโครงสร้างที่มีน้ำตาลแมนโนส เป็นองคประกอบหลักเชื่อมตอกันด้วยพันธะ β-1,4 นั่นคือสารกาแลคโตแมนแนน กลูโคแมนแนน กาแลคโตกลูโคแมนแนน และแมนแนน ทำให้ไดแมนโนโอลิโกแซคคาไรด (mannan-

oligosacharide) เป็นผลผลิต ซึ่งอาจประกอบด้วยแมนโนไตรโอส (mannotriose) หรือแมนโนไบโอส (mannobiose) (สุดาทิพย์ และ ชนิตโชต, 2555)

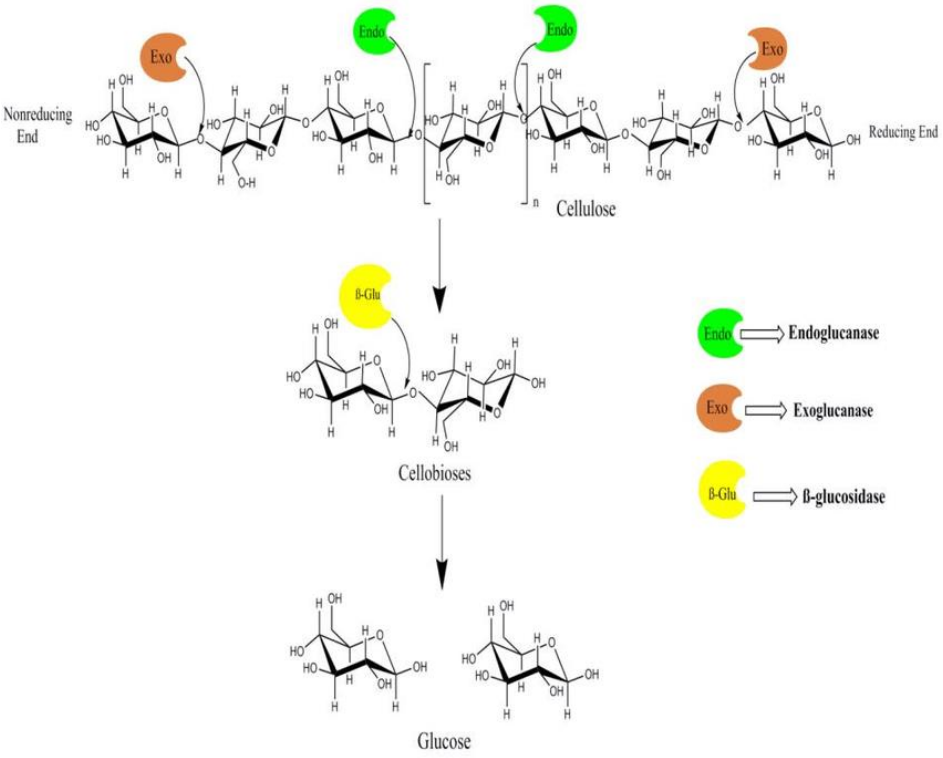


ภาพที่ 18 โครงสร้างสารประกอบแมนแนนและเอนไซมที่เกี่ยวของ (A) แมนนาเนสยอยสลายแมนแนน (B) กาแลคโตซิเดสย่อยสลายกาแลคโตแมนแนน (C) อะซิติลแมนแนนเอสเทอรเรสยอยสลายกาแลคโตกลูโคแมนแนน (D) แมนโนซิเดสย่อยสลายแมนแนนสายสั้น (E) กลูโคซิเดสยอยสลายกลูโคโอลิโกแซคคาไรด

ที่มา: Dhawan and Kaur (2007)

*2.6.2.3 เซลลูเลส (*Cellulase) เอนไซม์เซลลูเลสเป็นกลุ่มเอนไซม์เชิงซ้อนที่ประกอบด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด คือ เอนโดกลูคาเนส (endoglucanase) เอกโซกลูคาเนส (exoglucanase) และเซลโลไบเอส (cellbiose) (Juturu and Wu, 2014) โดยเอนไซม์เอนโดกลูคาเนสจะย่อยเซลลูโลสที่เป็นโครงสร้างผลึกให้เป็นเซลลูโลสสายโซ่ จากนั้นเอนไซม์เอกโซกลูคาเนส

จะย่อยเซลลูโลสสายโซ่ให้เป็นเซลลูบิโอส และเอนไซม์เซลโลไบเอสจะย่อยเซลลูบิโอสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวนี้จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่างในช่วงพิสัย 4 ถึง 8 (pH 4-8) (Lu and Mosier, 2007)



ภาพที่ 19 กลไกการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส

ที่มา: Nisha and Nallathambi (2017)

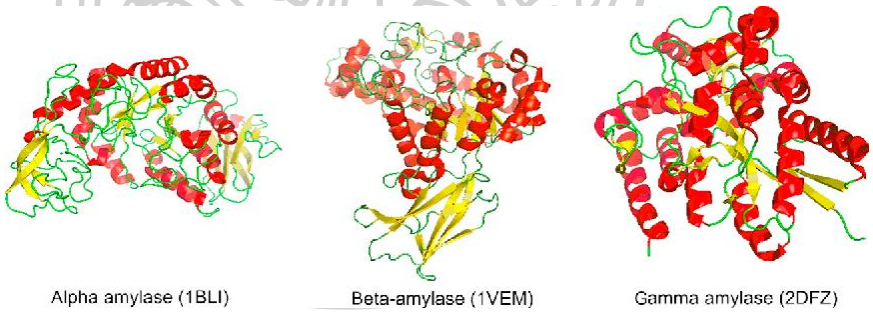
*2.6.2.4 เพคติเนส (*Pectinase) เอนไซม์เพคติเนส เป็นกลุ่มเอนไซม์ย่อยโครงสร้างของเพคตินประกอบด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด คือ เพคตินเอสเทอเรส (Pectinesterase, PE) พอลิกาแลคทูโรเนส (Polygalacturonase, PG) และเพคเทตไลเอส (Pectatelyasaes, PL) ซึ่งสามารถย่อยเพคติน (Pectin) ที่มีโมเลกุลใหญ่ ละลายน้ำได้น้อยให้มีสายสั้นลง ละลายน้ำได้ดีขึ้น เพคตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ให้ความแข็งแรงผนังเซลล์พืช พบในเนื้อเยื่อพืช ผัก ผลไม้ ในอาหารสัตว์การเสริมเอนไซม์ Pectinase เพื่อช่วยลดความหนืดในอาหาร ช่วยทำให้การดูดซึมและใช้สารอาหารได้มากขึ้น (Jayani et al., 2005)

*2.6.2.5 อะไมเลส (*Amylase) เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม **Hydrolases** และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (**Catalyst**) ในการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลโดยไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4-**glycosidase bond** ในโมเลกุลของสตาร์ช (**starch**) ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ทำให้ได้เป็นเดกซ์ทริน (**dextrin**) และน้ำตาล (**sugar**) ไดแซคคาไรด์ เช่น มอลโทส (**maltose**) มอโนแซคคาไรด์ เช่น กลูโคส (**glucose**) ชนิดของเอนไซม์อะไมเลส สามารถแบ่งได้ 3 ชนิด (ภาพที่ 20) คือ

1.แอลฟา-อะไมเลส (alpha-amylase) รหัสเอนไซม์คือ 3.2.1.1 เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคไซด์ภายในสายพอลิเมอร์ของโมเลกุลสตาร์ช (starch) และไกลโคเจน (glycogen) ที่ตำแหน่งแอลฟา 1-4 แบบสุ่มทำให้โมเลกุลของสตาร์ช และไกลโคเจนถูกไฮโดรไลซ์ได้ น้ำตาล เช่น น้ำตาลมอลโทส (maltose) และกลูโคส(glucose) อย่างรวดเร็ว เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส พบทั่วไปในระบบการย่อยอาหาร (digestive system) ของมนุษย์ และสัตว์เช่น ในน้ำลายและน้ำย่อยจากตับ (พิมพ์เพ็ญ และ เกียรติคุณ, 2546)

2.บีตา-อะไมเลส (beta-amylase) รหัสเอนไซม์คือ 3.2.1.2 เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์สตาร์ช (starch) ที่ตำแหน่งแอลฟา 1-4 ของพันธะไกลโคไซด์ที่เฉพาะส่วนปลายสายด้านที่เป็นนอนรีดิวส์ (non reducing end) เข้ามาทีละ 2 หน่วย ทำให้ได้น้ำตาลมอลโทส (maltose) เอนไซม์นี้ไม่พบในน้ำย่อยของมนุษย์ แต่พบในรา (mold) แบคทีเรีย (bacteria) เช่น Bacillus cereus และพบในผลไม้ระหว่างการสุก (ripe) (พิมพ์เพ็ญ และ เกียรติคุณ, 2546)

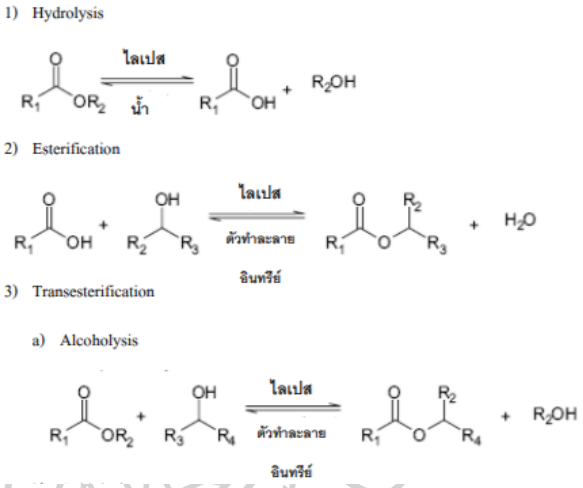
3. แกมมา-อะไมเลส กลูโคอะไมเลส หรือ อะมิโลกลูโคซิเดส ชื่อตามระบบ γ-1,4-glucan glucohydrolase รหัสเอนไซม์คือ 3.2.1.3 เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์สายพอลิเมอร์ของสตาร์ช (starch) ได้ทั้งที่พันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่งแอลฟา 1-4 และแอลฟา 1-6 จึงสามารถไฮโดรไลซ์โมเลกุลของอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ซึ่งโมเลกุลมีสายแขนง โดยจะไฮโดรไลซ์จากส่วนปลายด้านนอนรีดิวส์ (non reducing end) เข้ามาทีละ 1 หน่วยได้น้ำตาลกลูโคส (glucose) ผลิตได้(mold) แบคทีเรีย (bacteria) (วิราสิณี และ นพพล, 2556)



ภาพที่ 20 โครงสร้างเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส, เบต้า-อะไมเลสและแกมมา-อะไมเลส
ที่มา: Liu and Kokare (2016)

2.6.2.6 เอนไซม์ไลเปส จัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์ไฮโดรเลสประเภท triacylglycerol acylhydrolases ตาม The International Union of Biochemistry (IUB) system มีรหัส เป็น EC.3.1.1.3 ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์ (ester bond) ของโมเลกุลน้ำมันและไขมัน (triacylglycerol) ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) และ กลีเซอรอล (glycerol) นอกจากนี้ยังเร่งปฏิกิริยาผันกลับได้คือ การสังเคราะห์เอสเทอร์ ระหว่างกรดไขมัน และแอลกอฮอล์ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ด้วยการปรับสมดุลโดยการลดปริมาณน้ำในระบบ และการเร่งปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ (transesterification)

สามารถแบ่งออก เป็น 3 กลุ่มคือ การเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ระหว่างเอสเทอร์ – แอลกอฮอล์ (**alcoholysis)** เอสเทอร์ – กรดไขมัน (**acidolysis)** และระหว่างเอสเทอร์ต่างๆ (**interesterification)** (ภาพที่ 21) เอนไซม์กลุ่มนี้พบได้ทั้งในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ ยีสต์ รา และแบคทีเรีย โดยเฉพาะเอนไซม์ไลเปสที่ผลิตจากจุลินทรีย์ มีศักยภาพสูงในการผลิตเชิงการค้า (วีระ ปิยธีรวงศ์, 2555)



ภาพที่ 21 การเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ โดยเอนไซม์ไลเปส
ที่มา: Ramos-Sánchez **et al.** (2015)

2.7 **โปรไบโอติกส์ (**Probiotics)

โปรไบโอติกส์(probiotics) เป็นภาษากรีกที่แปลวา “for life” โดย Parker เป็นคนแรกที่ ให นิยามของคำวาโปรไบโอติกส์ในเชิงเดียวกับที่ใชในทุกวันนี้โดยได้ใหนิยามวา “โปรไบโอติกส์เป็น สิ่งมีชีวิตหรือสารชนิดที่กอใหเกิดสมดุลยของจุลินทรียขึ้นภายในทางเดินอาหาร” (Schrezenmeir and de Vrese, 2001) จึงอาจตีความรวมไปได้ถึงสารปฏิชีวนะ ตอมา Fuller (1989) ก็ได้ปรับปรุง นิยมนี้เสียใหม่กลาวคือ “โปรไบโอติกส์คือจุลินทรียที่มีชีวิตที่เสริมในอาหารสัตวเพื่อกอใหเกิด ประโยชนตอสัตวนั้นๆ โดยปรับปรุงสมดุลของจุลินทรียในลำไส” สวน Havenaar and Huis in't Veld (1992) ก็ได้นิยามคำวาโปรไบโอติกส์ไวเชนกัน โดยกล่าวไววา “โปรไบโอติกส์คือจุลินทรียเดี่ยว หรือผสมก็ได้ที่มีชีวิต ที่เมื่อเสริมใหคนหรือสัตวและกอใหเกิดประโยชนตอคนหรือสัตวโดยปรับปรุง คุณสมบัติของจุลินทรีย์เจาถิ่น” หลังจากนั้นก็มีผู้ปรับปรุงนิยามเพิ่มเติมเรื่อยมา โปรไบโอติกส์คือ จุลินทรียที่กอใหเกิดประโยชนตอสุขภาพของคนและสัตวนั้นเอง ดังตารางที่ 2 ประโยชนของการใช โปรไบโอติกส์ตอคนและสัตวมีมากมาย นอกเหนือจากการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรียกอโรค (pathogens) ในทางเดินอาหารอันเป็นสาเหตุของอาหารทองรวงแลว ยังช่วยลดระดับของลิปดใน ซีรัมอีกด้วย เชน *L. acidophilus* สามารถลดระดับโคเลสเตอรอลและลดอัตราการดูดซึม

cholesterol micelles ในลำไส (Mazza, 1998) โปรไบโอติกส์บางสายพันธุยังช่วยกำจัดสารกอมะเร็งและ secondary bile salt ซึ่งจะกอใหเกิดมะเร็งในลำไส้ได้ (Marteau et al., 2001) นอกจากนี้ Rastall et al. (2000) ก็รายงานอีกวาโปรไบโอติกส์สามารถชวยกระตุนระบบภูมิคุมกันชนิดไม่จำเพาะเจาะจงใหกับรางกายด้วย

ตารางที่ 4 ตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นโปรไบโอติกส์

Lactobacillus sp.	*Bifidobacterium* sp.	Other lactic acid bacteria	Non-lactic acid bacteria
L. acidophilus	*B. adolescentis*	*Enterococcus feacalis* [1]	*Bacillus subtilis*[1]
L. amylovorus	*B. animalis*	*Enterococcus feacium*	*Saccharomyces cerevisiae* [1]
L. casei	*B. bifidum*	*Lactococcus lactis*	*Escherichia coli*
L. delbrueckii	*B. breve*	*Leuconostoc mesenteroides*	*strain nissle*
L. paracasei	*B. infantis*	*Pediococcus acidilactici*	
L. plantarum	*B. lactis*	*Streptococcus thermophilus*	
L. rhamnosus	*B. longum*		

หมายเหตุ: 1 ส่วนใหญ่ใช้เสริมในสัตว์

ที่มา: Holzapfel et al. (2001)

2.8 **พรีไบโอติกส์ (**Prebiotics)

คำนี้ได้ถูกเสนอขึ้นมาเป็นครั้งแรกโดย Gibson และ Roberfroid (1995) โดยใหนิยามวา “พรีไบโอติกส์คือสวนประกอบของอาหารที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยทางเดินอาหารของคนและสัตว์แต่ใหคุณประโยชนแกคนและสัตวโดยการกระตุนการเจริญของจุลินทรียโปรไบโอติกส์ในทางเดินอาหารอย่างเฉพาะเจาะจง” ดังนั้นคุณสมบัติของสารพรีไบโอติกส์จึงควรมีดังตอไปนี้

1. ไม่ถูกย่อยหรือดูดซึมในทางเดินอาหาร
2. เป็นสารอาหารที่กระตุนการเจริญเติบโตของโปรไบโอติกส์ที่เฉพาะเจาะจง
3. สามารถทำใหเกิดการเปลี่ยนแปลงสัดสวนของจุลินทรียอันจะกอใหเกิดสุขภาพที่ดี

2.8.1 ประโยชน์ของพรีไบโอติกส์

1. ผลต่อระบบทางเดินอาหาร

พรีไบโอติกส์จะเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อแบคทีเรียนำไปใช้ก็จะให้พลังงานและสารบางชนิด เช่น กรดแลคติกและกรดไขมันชนิดสายสั้น (short-chain fatty acids) ซึ่งเป็นผลิตผลจากกระบวนการหมัก ซึ่งการหมักนี้จะทำให้มีการกระตุ้นการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์สุขภาพ และสภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบางชนิดในลำไส้ได้ จึงช่วยป้องกันอาการท้องเดิน โดยเฉพาะการติดเชื้อได้

2. ผลต่อการดูดซึมสารอาหารและแร่ธาตุบางชนิด

จากการหมักพรีไบโอติกส์โดยแบคทีเรียในลำไส้ ได้กรดไขมันชนิดสายสั้น ความเป็นกรดก็จะช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และสังกะสี นอกจากนี้อาจด้วยกลไกที่จะทำให้มีการดึงน้ำเข้ามาช่วยในการละลายเกลือแร่ต่างๆ ได้

3. ผลต่อการเผาผลาญไขมัน

การที่จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้นก็จะช่วยย่อยสลายคอเลสเตอรอล และยับยั้งการดูดซึมผ่านผนังลำไส้ หรืออาจเนื่องมาจากผลจากกระบวนการหมักที่ได้กรดไขมันสายสั้นบางชนิด โดยเฉพาะกรดโพรไพโอนิก (propionic acid) ซึ่งสามารถไปยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันรวมทั้งคอเลสเตอรอล ดังนั้นพรีไพโอนิกอาจช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดแข็งซึ่งมีสาเหตุจากไขมันได้

4. ผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของระบบทางเดินอาหาร

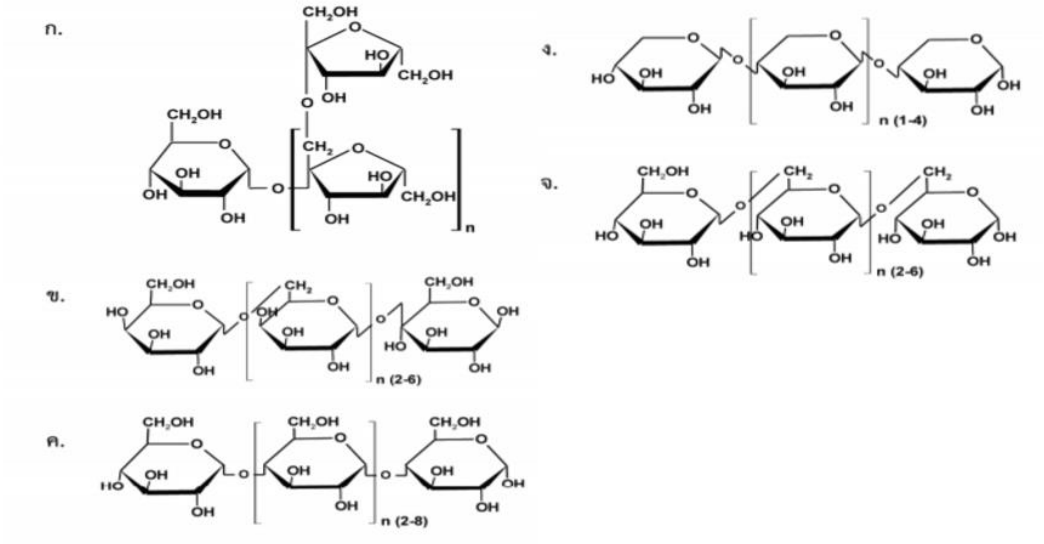
พรีไบโอติกส์สามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน โดยมีผลต่อการทำหน้าที่ของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับภูมิต้านทานในลำไส้ มีผลเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้ซึ่งสามารถป้องกันการติดเชื้อได้ดีด้วย รวมถึงมีผลต่อจำนวนและการทำงานของจุลินทรีย์พรีไบโอติกส์ ช่วยลดความเสี่ยงต่อโรค ได้แก่ บรรเทาอาการท้องผูก

พรีไบโอติกส์โอลิโกแซคคาไรด์ที่เติมลงในอาหารสัตว์ จะเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ อาจจะกระตุ้นให้จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารผลิตเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใย ช่วยให้สัตว์ย่อยอาหารได้ดีขึ้น มีการเจริญเติบโตที่ดี ขัดขวางการจับระหว่างการยึดเกาะบนผนังเซลล์เยื่อบุลำไส้ของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค (เทพรัตน์,2552)

2.8.2 แหล่งของพรีไบโอติกส์

1. สกัดจากแหล่งผลิตตามธรรมชาติได้จากพืช เช่น ถั่วเหลือง หัวบีท และหัวอาร์ทิโชก ได้แก่ พรีไบโอติกส์จำพวก soybean oligosaccharides, raffinose, inulin และ non-starch polysaccharides ได้แก่ แพ็กติน และเซลลูโลส เป็นต้น

2. สังเคราะห์จากเอนไซม์ด้วยการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และทรานสไกลโคซิเลชันของเอนไซม์จากแบคทีเรีย ได้แก่ ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo oligosaccharides, FOS) กาแล็กโทโอลิโกแซคคาไรด์ (Galacto Oligosaccharide, GOS) แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (Manno Oligosaccharide, MOS) ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (Xylo oligosaccharides, XOS) และไอโซมอลโทโอลิโกแซคคาไรด์ (Isomalto oligosaccharides, IMO) (ดังภาพที่ 22) รวมทั้งพอลีแซคคาไรด์โพรไบโอติกชนิด resistant starch และโปรตีนพรีไบโอติกส์



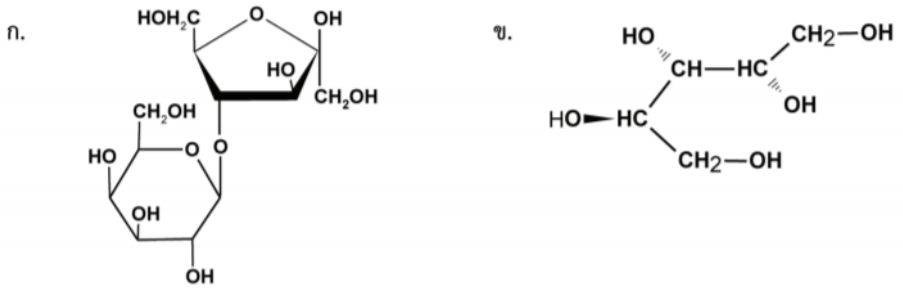
ภาพที่ 22 โครงสร้างของพรีไบโอติกส์ประเภทโอลิโกแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ

ก. ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) ข. กาแล็กโทโอลิโกแซคคาไรด์ (GOS) ค. แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (MOS) ง. ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (XOS) จ. ไอโซมอลโทโอลิโกแซคคาไรด์ (IMO)

ที่มา: ประกานต์ และ จารุณี (2555)

3. สังเคราะห์จากปฏิกิริยาเคมี เช่น lactulose และ alcohol sugar (ดังภาพที่ 23) โดยทั่วไปการสังเคราะห์พรีไบโอติกส์จากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จากแบคทีเรียมีข้อที่ดีกว่าพรีไบโอติกส์ที่สกัดมาจากพืช ในด้านปริมาณผลผลิตที่สูงกว่า ต้นทุนการสังเคราะห์ที่ถูกกว่า และสามารถควบคุมชนิดและความยาวของสายโอลิโกแซคคาไรด์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้

จากการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของพรีไบโอติกส์ พบว่าพรีไบโอติกส์สายยาวสามารถทนอยู่ในทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิตได้นานกว่า และสามารถกระตุ้นโพรไบโอติกได้ดีกว่า (ประกานต์ และ จารุณี, 2555)



ภาพที่ 23 โครงสร้างของ ก. Lactulose และ ข. alcohol sugar (Xylitol)

ที่มา: ประกานต์ และ จารุณี (2555)

2.8.3 ประเภทของพรีไบโอติกส์

1. น้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ (Sugar and Oligosaccharides)

เป็นพรีไบโอติกส์กลุ่มใหญ่ที่สุด จัดเป็นพวก shot-chain oligosaccharide ที่เป็น non-digestible oligosaccharide (NDOs) ประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2-20 หน่วย ตัวอย่างเช่น raffinose, inulin, FOS, GOS, MOS, XOS และ IMO

2. น้ำตาลแอลกอฮอล์ (Alcohol sugar)

เป็นโอลิโกแซคคาไรด์พรีไบโอติกส์ที่มีค่าดัชนีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (Degree of Polymerization) เพียง 1-2 ตัว ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ maltitol, sorbitol, isomalt และ xylitol เป็นต้น ในบางครั้งสามารถเรียกน้ำตาลแอลกอฮอล์ว่า “polyol” ใช้เป็นสารให้ความหวาน ที่มีระดับความหวานเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลแอลกอฮอล์จะถูกดูดซับในลำไส้เล็กได้ช้ากว่าน้ำตาลซูโครส จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

3. แป้งทนย่อยต่อเอนไซม์ (Resistant starch)

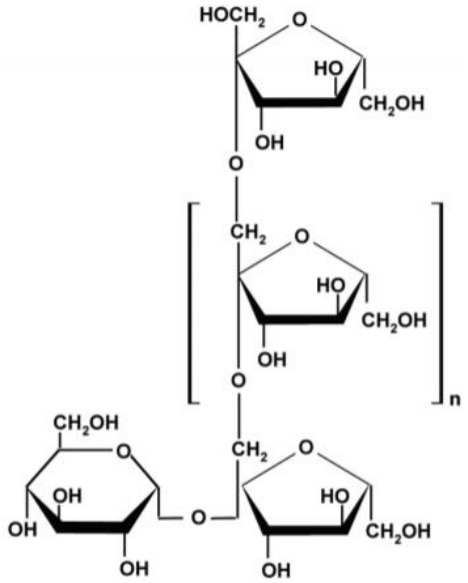
จัดเป็นพอลีแซคคาไรด์โพรไบโอติกที่ไม่ถูกย่อย และดูดซึมในทางเดินอาหาร เนื่องจากมีแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมีโลเพกติน (Amylopectin) มากกว่า 20-25%

4. non-starch polysaccharides (NSPs)

จัดเป็นพอลีแซคคาไรด์โพรไบโอติกที่ได้รับจากพืช ได้แก่ เพ็กติน (Pectin), เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), guar gum และ ไซแลน (Xylan)

5. อินนูลิน (Inulin)

จัดเป็นพอลีแซคคาไรด์โพรไบโอติกที่พืชเก็บไว้เป็นอาหาร (ดังภาพที่ 24) พบในพืชมากมายหลายชนิด เช่น หัวหอม หัวอาร์ทิโชก รากชิคอรี หัวกระเทียม กล้วย เห็ด และหน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น



ภาพที่ 24 โครงสร้างของอินนูลิน (n = ฟรุกโตส = ประมาณ 35 หน่วย)

ที่มา: ประกานต์ และ จารุณี (2555)

6. Related mucopolysaccharides

เป็นพอลีแซคคาไรด์โครงสร้างของสัตว์ไม่มีการแตกกิ่งก้าน ประกอบด้วยสายของคาร์บอไฮเดรตที่มีน้ำตาลอะมิโนพวกเฮกโซซามีน (Hexosamine) และกรดยูโรนิก ลักษณะเด่นที่พบได้ในโครงสร้างของน้ำตาลมิวโคพอลีแซคคาไรด์ คือ น้ำตาลในหน่วยซ้ำไดแซคคาไรด์ของมิวโคพอลีแซคคาไรด์อย่างน้อย 1 หน่วย มีหมู่ซัลเฟตหรือหมู่คาร์บอกซิเลตที่แสดงประจุลบ ดังนั้นจึงจัดเป็นโปรตีน-คาร์บอไฮเดรตพอลีแซคคาไรด์พรีไบโอติกส์ ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย goblet cells ที่อยู่ในเยื่อบุผิวลำไส้ เป็นสารตั้งต้นหลักสำหรับการหมักในลำไส้ ตัวอย่างเช่น คอนดรอยตินซัลเฟต (Chondroitin sulfate), เฮปารีน (Heparin), สารคัดหลั่งจากตับอ่อน (Pancreatic secretion) และ สารคัดหลั่งจากแบคทีเรีย (Bacterial secretion)

7. โปรตีนและเพปไทด์ (Proteins and peptides) พรีไบโอติกส์กลุ่มนี้ได้จากสารอาหารกลุ่มโปรตีน และภายหลังเกิดการดัดแปรด้วยเอนไซม์ในระบบย่อยอาหาร (Digestive enzyme) จนได้เป็นสายเพปไทด์สั้นๆ แต่พบได้น้อยกว่าพรีไบโอติกส์ในกลุ่มคาร์บอไฮเดรต (ประกานต์ และ จารุณี, 2555)

2.9 **โอลิโกแซคคาไรด์** Oligosaccharides)

2.9.1 ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo oligosaccharides, FOS) จัดเป็นอนุพันธ์ของสารอินนูลิน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยฟรุกโตส (Fructose) มาเชื่อมกันด้วยพันธะบีต้า-2,1 (β 2-1) เป็นฟรุกแตนที่มีค่าค่าดัชนีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (Degree of Polymerization) ประมาณตั้งแต่ 3 ไปจนถึง 10 โดยมีหน่วยโมเลกุลของกลูโคสมาต่อท้าย (เอกภพ ,2555)

2.9.2 กาแล็กโทโอลิโกแซคคาไรด์ (Galacto Oligosaccharide, GOS)
มีกาแลคโตสเป็นองค์ประกอบ มาเชื่อมกันด้วยพันธะบีต้า-1,6 (β 1-6) มีค่าดัชนีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (Degree of Polymerization) ประมาณตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 5 โดยมีหน่วยโมเลกุลของกลูโคสมาต่อท้าย (รุสมัน, 2557)

2.9.3 แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (Manno Oligosaccharide, MOS)
มีน้ำตาลแมนโนสเป็นองค์ประกอบ มีความคงตัวสูงและไม่ถูกกระทบ หรือย่อยได้โดยกรดหรือด่าง แต่จะถูกย่อยได้โดยเอนไซม์ที่หลั่งจากแบคทีเรียแกรมบวกและสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและฟอสเฟตได้ แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ยีสชั้นนอก โดยพบในส่วนของแมนโนโปรตีน (Mannoprotein) ซึ่งทำหน้าที่ในการยึดเกาะองค์ประกอบต่างๆของผนังเซลล์ให้คงอยู่ด้วยกัน โดยโครงสร้างหลักจะจับกันด้วยพันธะ α-1,6 และจับกันด้วยพันธะ α-1,2 และ α-1,3 เป็นแขนงยื่นออกไป (สุรญาณ์, 2557)

2.9.4 ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (Xylo oligosaccharides, XOS)
เป็นสารชีวโมเลกุลประเภทคาร์โบไฮเดรตชนิดโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีค่าดัชนีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (Degree of Polymerization) ประมาณตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 10 เป็นโครงสร้างองค์ประกอบหลักของไซแลน หรือเฮมิเซลลูโลสของผนังเซลล์พืชที่มีค่าดัชนีการสังเคราะห์พอลิเมอร์มากกว่า 130 ขึ้นไป ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่ง β (1-4) และอาจมีสารประกอบชนิดอื่นร่วมด้วยในโครงสร้าง เช่น น้ำตาลอะราบิโนส หมู่อะเซตติล กรดกลูคูโรนิค และเฟอร์รูริก เป็นต้น (ธัญญรัตน์, 2561)

2.9.5 ไอโซมอลโทโอลิโกแซคคาไรด์ (Isomalto oligosaccharides, IMO)

ประกอบด้วยหน่วยย่อยกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6 และอาจมีหรือไม่มีพันธะ α-1,4 ไกลโคซิดิก ได้จากกระบวนการหมักของอาหารและน้ำตาล เช่น สาเก ซอสถั่วเหลือง และน้ำผึ้ง ในการผลิตเชิงพาณิชย์ใช้แป้งเป็นสารตั้งต้นร่วมกับเอนไซม์ 3 ชนิด (ประกานต์ และ จารุณี, 2555)

2.10 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

Sanchez et al. (2019) ได้ทำการศึกษาการใช้รำละเอียดและการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (multi-enzyme supplement (MES) Canadian Bio-Systems, Calgary, AL, Canada) ที่ประกอบไปด้วย xylanase, β-glucanase, invertase, protease, cellulase, amylase, mannanase ที่ระดับ 2,500, 300, 700, 10,000, 1,200,24,000, 20 U/kg. โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง ในช่วงอายุ 0-24 วัน จะมีใช้รำละเอียดที่ระดับ 5% และ ในช่วงอายุ 25-35 วัน จะมีเสริมรำละเอียดที่ระดับ 11% แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม โดย

ในช่วงอายุ 0-24 วัน

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์

กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 5%

กลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 5% ที่เสริมด้วยเอนไซม์

ในช่วงอายุ 25-35 วัน

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์

กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 11%

กลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 11% ที่เสริมด้วยเอนไซม์

ผลการศึกษาพบว่า ไม่เกิดอิทธิพลร่วม (P>0.10) ระหว่างปัจจัยของรำละเอียดและการเสริมเอนไซม์ ปริมาณการกินอาหารไม่ได้รับผลกระทบ (P>0.10) โดยอาหารในแต่ละกลุ่มการทดลอง ยกเว้นในไก่ในช่วงอายุ 0-24 วัน ที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ มีแนวโน้มที่จะกินอาหารมากขึ้น (P = 0.07) มากกว่าไก่ในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมเอนไซม์

ในช่วงอายุ 0-24 วัน ผลกระทบหลักของการเสริมเอนไซม์ นั้นคือไก่ในกลุ่มที่เสริมด้วยเอนไซม์มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (BWG) ดีขึ้น (P<0.01) และมีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (FCR) ดีขึ้น (P=0.06) เมื่อเทียบกับไก่ในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมเอนไซม์ ไก่ในกลุ่มที่มีการเสริมรำละเอียด มีแนวโน้มที่จะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น BWG สูงกว่าไก่ที่ไม่ได้เสริมรำละเอียด (884 กรัม เทียบกับ 860 กรัม ,P=0.07)

ในช่วงอายุ 25-35 ไก่ในกลุ่มที่มีการเสริมรำละเอียด ส่งผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นมีค่าลดลง โดยน้ำหนักตัวสิ้นสุดในวันที่ 35 มีค่าเท่ากับ 1,804 กรัม เทียบกับไก่ที่ไม่ได้เสริมรำละเอียด มีค่าเท่ากับ 1,855 กรัม

ไก่ในกลุ่มที่เสริมด้วยเอนไซม์มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น BWG ที่ดีกว่า (961 กรัม เทียบกับ 858 กรัม) และ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร FCR (1.69 เทียบกับ 1.86) มากกว่าไก่ในกลุ่มที่ไม่มีเสริมด้วยเอนไซม์

แม้ว่าจะไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของรำละเอียดและการเสริมเอนไซม์ ที่ส่งผลกระทบต่อนำหนักกึ๋นและน้ำหนักของลำไส้เล็ก (P>0.10) แต่กลุ่มที่มีการเสริมรำละเอียด มีน้ำหนักกึ๋นที่เพิ่มขึ้น ในวันที่ 24 และ 35 น้ำหนักลำไส้เล็กไม่ได้รับผลกระทบจากอาหาร (P>0.10) ในการเสริมรำละเอียดและเอนไซม์

Deniz et al. (2007) ได้ทำการศึกษาการใช้รำละเอียดและเอนไซม์ในอาหารไก่ต่ออวัยวะการย่อยของไก่เนื้อ โดยใช้เอนไซม์ (BASF AG., Ludwigshafen, Germany) ที่ประกอบไปด้วย 55000 endo xylanase units (EXU), 1200 beta-glucanase units (BGU) ทำการเสริมที่ระดับ

0.5 กรัม/กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลองคือ 0-21 วัน และ 22-42 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 8 กลุ่ม โดย

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์

กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 10%

กลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 10% ที่เสริมด้วยเอนไซม์

กลุ่มที่ 5 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 15%

กลุ่มที่ 6 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 15% ที่เสริมด้วยเอนไซม์

กลุ่มที่ 7 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 20%

กลุ่มที่ 8 คือ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 20% ที่เสริมด้วยเอนไซม์

ผลการศึกษาพบว่า ไม่เกิดอิทธิพลร่วม ($P>0.10$) ระหว่างปัจจัยของรำละเอียดและการเสริมเอนไซม์ และการเสริมเอนไซม์ไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักตัว, น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น, ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร

การใช้รำละเอียดในระดับ 10, 15 และ 20% ส่งผลทำให้น้ำหนักตัว, น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น, ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการใช้รำละเอียด

ในวันที่ 21 และ 42 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น พบว่าในกลุ่มที่ไม่การใช้รำละเอียดมีค่าดีที่สุด เท่ากับ 491.4 กรัม และ 1955.7 กรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลองที่มีการใช้รำละเอียด ทำให้การเสริมรำละเอียดในสูตรอาหารส่งผลทำให้น้ำหนักตัวไก่ลดลง

ปริมาณการกินอาหารในช่วง 0-21 วันพบว่ามีการกินได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มระดับของรำละเอียด ทำให้มีระดับของเยื่อใยเพิ่มสูงขึ้น ในวันที่ 42 พบว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมรำละเอียดที่ระดับ 20% มีปริมาณการกินอาหาร เท่ากับ 3998.3 กรัม ซึ่งมีค่ามากที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง ($P<0.001$) ซึ่งอาจจะมาจากการที่มี ME ต่ำที่สุดในอาหารทั้งสองช่วง ไก่จะต้องมีการปรับการกินอาหารให้ครอบคลุมกับความต้องการพลังงาน และเมื่อพลังงานในอาหารมีการเปลี่ยนไป ก็จะสามารถทำให้ไก่กินอาหารมากขึ้นหรือน้อยลง

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีการเพิ่มระดับของรำละเอียด โดยในกลุ่มที่มีการเสริมรำละเอียดที่ระดับ 20% ในวันที่ 21 และ 42 มีค่าสูง

ที่สุด เท่ากับ 1.77 และ 2.40 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง โดยพบว่าไก่รุ่นจะสามรถทนต่อการเพิ่มระดับของรำละเอียดได้สูงถึง 20% โดยไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามงานทดลองสามารถเสริมรำละเอียดได้สูงสุดที่ระดับ 10%

ผลของน้ำหนักและความกว้างของอวัยวะการย่อยของไก่เนื้อ โดยทั่วไปมีการเพิ่มขึ้นของขนาดของอวัยวะย่อยอาหารเมื่อมีการเพิ่มระดับของรำละเอียด **10, 15** และ **20%** ในอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารควบคุมที่ไม่ได้เสริมรำละเอียด ซึ่งพบว่าน้ำหนักของกระเพาะพัก 0.25, 0.28 และ 0.32 (***P*<0.001**), กระเพาะแท้ 0.31, 0.32 และ 0.37 ลำไส้เล็กส่วนต้น 0.50, 0.55 และ 0.60, ลำไส้เล็กส่วนท้าย 0.20, 0.23 และ 0.27, ไส้ติ่ง 0.33, 0.35 และ 0.40, ลำไส้ใหญ่ 0.26, 0.28 และ 0.30 และตับอ่อน 0.25, 0.26 และ 0.30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 **การทดลองที่ 1 การเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ต่อการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารทดลองในหลอดทดลอง (**In vitro digestion)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจำลองสภาวะการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารไก่เนื้อร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในร่างกายสัตว์

กลุ่มทดลอง

กลุ่มที่ **1** รำละเอียด **(RB)**

กลุ่มที่ **2** รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม **(RB+E)**

กลุ่มที่ **3** อาหารไก่เล็กที่ใช้รำละเอียด **(S)**

กลุ่มที่ **4** อาหารไก่เล็กที่ใช้รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม **(S+E)**

กลุ่มที่ **5** อาหารไก่รุ่นที่ใช้รำละเอียด **(G)**

กลุ่มที่ 6 อาหารไก่รุ่นที่ใช้รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม **(G+E)**

วิธีการทดลอง

การทดสอบการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารไก่เนื้อในหลอดทดลอง การทดสอบการย่อยได้ในหลอดทดลองครั้งนี้ใช้วิธีการของ (Bedford and Partridge, 2001) ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนแปลงขั้นตอนบางส่วนเล็กน้อย ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ชั่งรำละเอียดและอาหารไก่เนื้อ 2 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ผสม กับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม 0.02% ใน 0.05 mM Phosphate buffer ที่สภาวะ pH 6.0 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อจำลองการย่อยได้ในส่วนของกระเพาะพัก

2. ใส่สารละลาย HCl ความเข้มข้น 1.5 N ที่ประกอบด้วย Pepsin 6000 U ในหลอดทดลองที่มีรำละเอียดผสมเอนไซม์ ปริมาณ 4 มิลลิลิตร ที่สภาวะ pH 3.0 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาทีเพื่อจำลองการย่อยได้ในส่วน ของกระเพาะอาหาร

3. เมื่อครบ 45 นาทีเติมสารละลาย $NaHCO_3$ ความเข้มข้น 1 M ที่ประกอบด้วย Pancreatin 3.7 mg/ml ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ที่สภาวะ pH 6.0 นำไปบ่มต่อ 2 ชั่วโมงเพื่อเป็นการจำลองการย่อยได้ของลำไส้เล็ก

4. จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

5. นำของเหลวใสที่ได้ไปแยกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี Dinitrosalicylic acid method (DNS) (Miller, 1959) และวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ โดยวิธี Thin layer chromatography (TLC) (Cabrera and Van Cutsem, 2005) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี phenol sulfuric acid assay (DuBois et al., 1956; Saha and Brewer, 1994)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยวิธี Dinitrosalicylic Acid Method (DNS) (Miller, 1959)

ผสมตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร จากปฏิกิริยาในสารละลาย DNS 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที แล้วหยุดปฏิกิริยาการเกิดสีด้วยการแช่น้ำแข็งทันที เป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำกลั่น 3.5 มิลลิลิตร จากนั้นดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยง 12000 rpm นาน 10 นาทีเพื่อกำจัดตะกอน แล้วจึงดูดส่วนใส 300 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยเครื่อง microplate reader และนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เทียบหาค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส

<u>การสร้างกราฟมาตรฐานกลูโคส</u>

ทำการเจือจางสารละลายกลูโคสให้มีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จาก stock กลูโคสเข้มข้น 0.1% แล้วเติมน้ำ 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0, 0, 0, 0, 0, และ 0 ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลาย DNS 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และนำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที แล้วหยุดปฏิกิริยาการเกิดสีด้วยการแช่น้ำแข็งทันที เป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำกลั่น 3.5, 3.5, 3.5, 3.5, 3.5, 3.5, 3.4, 3.3, 3.2, 3.1 และ 3.0 มิลลิลิตร แล้วจึงดูดส่วนใส 300 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยเครื่อง microplate reader และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี phenol sulfuric acid assay

น้ำตาลที่ได้มาจากรำละเอียดที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm 30 นาที จากนั้นนำไปเจือจางสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ 100 เท่า และ 500 เท่า ใส่ในหลอดที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

เตรียมหลอดทดลองขนาดใหญ่ จำนวน 8 หลอด เติมสารละลายลงในแต่ละหลอด ตามตารางข้างล่าง ผสมให้เข้ากัน

สารละลาย (ml)	หลอดทดลอง								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
สารละลายกลูโคสเข้มข้น 0.2 mg/ml	-	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	-	-
สารละลายตัวอย่าง	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2
น้ำกลั่น	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	0.3	0.3

เติมสารละลาย 5% phenol หลอดละ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันใน water bath แล้วใช้แท่งแก้วคน จากนั้นเติม conc. H_2SO_4 หลอดละ 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เมื่อครบเวลาจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 nm นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อเทียบหาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลตัวอย่าง (DuBois et al. , 1956; Saha and Brewer, 1994)

การวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ โดยวิธี Thin layer chromatography

โดยนำสารละลายตัวอย่างรำละเอียดที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ นำไปปั่นเหวี่ยง 10000 rpm นาน 5 นาที แล้วจึงหยดสารตัวอย่างลงบนแผ่น TLC (Silica gel 60, F254 Plate (Merck & Co., Inc.)) โดยใช้น้ำตาลกลูโคส เซลลูโลไบโอสเป็นสารมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบ จากนั้นนำไปจุ่มลงในถังที่มี Mobile phase ซึ่งประกอบด้วย n-butanol : ammonium hydroxide : Distilled water (70 ml : 20 ml : 10 ml) เมื่อ Mobile phase เคลื่อนที่เกือบสุดแผ่น นำแผ่น Silica gel ออกมาผึ่งให้แห้ง จากนั้นพ่นด้วย Reagent ซึ่งประกอบด้วย 10% (v/v) sulfuric ใน ethanol ลงบนแผ่นจนทั่วแผ่น ผึ่งไว้จนแห้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ˚C จนเห็นตัวอย่างชัด (Cabrera and Van Cutsem, 2005)

3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการผลิต สัณฐานวิทยาลำไส้และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

สัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้ไก่เนื้อ **Ross 308** คละเพศจำนวน **525** ตัว เลี้ยงภายใต้สภาพโรงเรือนแบบเปิด ชั่งน้ำหนักไก่เนื้อ อายุ 1 วัน จากนั้นสุ่มไก่กระทงเข้าทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่ม

สมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แล้วสุ่มไก่เป็น 5 กลุ่มๆ ละ 7 ซ้ำ ซ้ำละ 15 ตัว ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เช้า 7:00 น. และ เย็น 17:00 น. ในวันที่ 17 และ 35 จะทำการชั่งน้ำหนักอาหารและน้ำหนักไก่ทุกตัว

อาหารทดลอง

อาหารทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ 1) ช่วงแรกเกิด-อายุ 17 วัน และ 2) ช่วงอายุ 18-35 วัน โดยไก่ทดลองแต่ละกลุ่มการทดลอง จะได้รับสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร ดังนี้

1. ช่วงแรกเกิด-อายุ 17 วัน รายละเอียดของส่วนประกอบของสูตรอาหารแสดงไว้ในตารางที่ 5

กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1)

กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% (T2)

กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3)

กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% (T4)

กลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5)

2. ช่วงอายุ 18-35 วัน รายละเอียดของส่วนประกอบของสูตรอาหารแสดงไว้ในตารางที่ 6

กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1)

กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 12.5% (T2)

กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 12.5% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3)

กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 15% (T4)

กลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 15% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5)

เอนไซม์ที่ใช้คือ เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (Pegazyme FP® ที่ประกอบไปด้วย: β-glucanases 195,000,000 , endoxylanase 75,000,000 , cellulase 7,500,000 , pectinase 3,000,000 , phytase 2,500,000 , mannanase 8,100,000 , amylase 600,000 , protease 600,000 และ lipase 30,000 units ที่ระดับ 0.02%

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองของไก่เนื้อในระยะไก่เล็ก (1-17 วัน)

	อาหารไก่เล็ก				
รายการ	**กลุ่มที่ 1**	**กลุ่มที่ 2**	**กลุ่มที่ 3**	**กลุ่มที่ 4**	**กลุ่มที่ 5**
ข้าวโพด	48.48	42.75	42.75	43.73	43.73
มันสำปะหลังป่น	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
ไขมัน	2.88	3.07	3.07	2.28	2.28
รำละเอียด	-	7.50	7.50	10.00	10.00
กากถั่วเหลือง (48%)	32.81	29.61	29.61	24.47	24.47
ปลาป่น (60%)	3.00	4.78	4.78	8.20	8.20
แอล-ไลซีน	0.01	-	-	-	-
ดีแอล–เมทไธโอนีน	0.21	0.21	0.21	0.19	0.19
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	1.35	1.02	1.02	0.49	0.49
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.83	0.68	0.68	0.02	0.02
โคลีนคลอไรด์	0.02	0.02	0.02	0.36	0.36
เกลือ	0.16	0.11	0.11	0.03	0.03
พรีมิกซ์*	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
เอนไซม์	-	-	0.02	-	0.02
รวม	100	100	100.02	100	100.02
โภชนะที่ได้จากการคำนวณ (% น้ำหนักสด)					
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	3,100	3,150	3,150	3,170	3,170
โปรตีนรวม	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
ไขมันรวม	5.56	6.87	6.87	6.74	6.74
เยื่อใยรวม	3.53	3.57	3.57	3.41	3.41
แคลเซียม	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ไลซีน	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
เมไทโอนิน+ซีสตีน	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
เมธไทโอนิน	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
ทรีโอนีน	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
ทริปโตเฟน	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

*ส่วนประกอบพรีมิกซ์ใน 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามิน เอ 2,000,000 หน่วยสากล วิตามิน ดี 3 320,000 หน่วยสากล วิตามิน อี 2,000 วิตามิน เค 3 330 วิตามิน บี 1 220 วิตามิน บี 2 450 วิตามิน บี 12 4.5 กรดนิโครทินิก 600 ทองแดง 100 เหล็ก 10,000 ไอโอดีน 150 แมงกานีส 8,800 สังกะสี 8,800 โคบอลต์ 130 และแคลเซียม 52,800 มิลลิกรัม

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองของไก่เนื้อในระยะไก่เล็ก (18-35 วัน)

	อาหารไก่รุ่น				
รายการ	**กลุ่มที่ 1**	**กลุ่มที่ 2**	**กลุ่มที่ 3**	**กลุ่มที่ 4**	**กลุ่มที่ 5**
ข้าวโพด	60.80	50.15	50.15	50.00	50.00
มันสำปะหลังป่น	10.00	8.26	8.26	5.87	5.87
ไขมัน	1.10	2.4	2.4	2.68	2.68
รำละเอียด	-	12.50	12.50	15.00	15.00
กากถั่วเหลือง (48%)	13.00	12.44	12.44	12.44	12.44
ปลาป่น (60%)	14.5	13.65	13.65	13.4	13.4
แอล-ไลซีน	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
ดีแอล–เมทไธโอนีน	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	-	-	-	-	-
แคลเซียมคาร์บอเนต	-	-	-	-	-
โคลีนคลอไรด์	-	-	-	-	-
เกลือ	-	-	-	-	-
พรีมิกซ์*	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม	-	-	0.02	-	0.02
รวม	100	100	100.02	100	100.02
โภชนะที่ได้จากการคำนวณ (% น้ำหนักสด)					
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	3,300	3,315	3,315	3,314	3,314
โปรตีนรวม	20.5	20.5	20..5	20.5	20.5
ไขมันรวม	4.9	7.75	7.75	8.4	8.4
เยื่อใยรวม	2.65	2.91	2.91	2.95	2.95
แคลเซียม	0.78	0.79	0.79	0.78	0.78
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
ไลซีน	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
เมไทโอนิน+ซีสตีน	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
เมธไทโอนิน	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
ทรีโอนีน	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76
ทริปโตเฟน	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21

*ส่วนประกอบพรีมิกซ์ใน 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามิน เอ 2,000,000 หน่วยสากล วิตามิน ดี 3 320,000 หน่วยสากล วิตามิน อี 2,000 วิตามิน เค 3 330 วิตามิน บี 1 220 วิตามิน บี 2 450 วิตามิน บี 12 4.5 กรดนิโครทินิก 600 ทองแดง 100 เหล็ก 10,000 ไอโอดีน 150 แมงกานีส 8,800 สังกะสี 8,800 โคบอลต์ 130 และแคลเซียม 52,800 มิลลิกรัม

สัณฐานวิทยาลำไส้เล็กของไก่เนื้อ

เมื่อไก่อายุ 35 วัน ให้อดอาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง สุ่มไก่เนื้อ 2 ตัวต่อหน่วยทดลอง เพื่อฆ่าชำแหละและการเก็บตัวอย่างลำไส้เล็ก 3 ส่วน คือ ดูโอดีนัม เจจูนัม และ ไอเลียม ตามวิธีของ (Daneshmand et al., 2011) โดยการเก็บตัวอย่างลำไส้เล็กนั้นจะตัดลำไส้แต่ละส่วน ยาวประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วแช่ใน 4% buffered formalin เพื่อเก็บรักษาคงสภาพเนื้อเยื่อ (Fixation) รักษาเซลล์และเนื้อเยื่อ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามวิธีของ (Awad et al., 2009) และ 50% Ethyl alcohol ตามวิธีของ Sharifi et al. (2012) จากนั้นเข้าสู่การล้าง (Washing) เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดจะต้องนำเนื้อเยื่อมาล้างน้ำยาคงสภาพออกด้วยการเปิดน้ำประปาให้ไหลผ่านตลอดระยะเวลา 30 นาทีถึง 1 ชั่วโมงเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการต่อไป ดังนี้ เก็บตัวอย่างลำไส้เล็กส่วน ดูโอดีนัมบริเวณจุดกึ่งกลางของลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัม เก็บตัวอย่างลำไส้เล็กส่วนเจจูนัมบริเวณจุดกึ่งกลางระหว่าง Bile duct entry กับ Mackel ‘s diverticulum และเก็บตัวอย่างลำไส้เล็กส่วนไอเลียมบริเวณ Distal end of lower ileum จากนั้นจะทำการการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อ (Dehydration) โดยใช้ขจัดเอทิลแอลกอฮอล์โดยต้องผ่านการแช่แอลกอฮอล์จากระดับต่ำไปสูง เรียงจาก 70% 80% 95% จนถึง 100%

การฝังเนื้อเยื่อภายในพาราฟิน (Embedding) ภาชนะที่ใช้ในการฝังเนื้อเยื่อจะใช้แม่พิมพ์โลหะรูปสี่เหลี่ยมที่เรียกว่า กระทงโลหะ วางเนื้อเยื่อลงในกระทง ตามขวางหรือตามยาวของเนื้อเยื่อเติมพาราฟินลงในกระทงโลหะให้เต็มหลังจากนั้นก็เริ่มทำให้บล็อกเย็นลงโดยค่อยๆจุ่มด้านล่างของกระทงลงในอ่างน้ำเย็นทีละน้อยพาราฟินจะเริ่มแข็งตัวจากด้านล่างของกระทงขึ้นมาเรื่อย ๆ เมื่อพาราฟินแข็งดีแล้วก็จะแกะจากกระทงเตรียมพร้อมสำหรับนำไปตัดเนื้อเยื่อให้เป็นแผ่นบาง

เนื้อเยื่อที่ฝังในพาราฟินจะนำมาตัดให้เป็นแผ่นบางขนาด 4 µm นำเนื้อเยื่อที่ตัดแล้วไปวางบนแผ่นสไลด์หลังจากนั้นทำให้สไลด์แห้งโดยวางบนเครื่องอุ่นสไลด์ที่ตั้งไว้อุณหภูมิไว้ 45 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 คืนแล้วนำสไลด์มาย้อมสี

การย้อมสี (Staining) หลังจากเนื้อเยื่อแผ่นบางที่ติดบนสไลด์แห้งสนิทดีแล้วนำมาย้อมสีด้วย hematoxylene-eosin เพื่อให้เห็นความแตกต่างของเซลล์และเนื้อเยื่อชัดเจนขึ้นจากนั้นนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้วทำการวัดค่าดังต่อไปนี้ด้วย Toup View 3.7 software (Irwin, U.S.A) ตามวิธีของ (Awad et al. , 2009) การวัดความสูงของวิลไล ความลึกของ คริปต์ออฟลีแบร์คึน (Crypt of lieberkuhn) และ สัดส่วนของวิลลัสต่อคริปท์ ตามวิธีของ (Tsirtsikos et al., 2012)

ประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

ไก่เนื้อที่ได้จากการทดลองที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่าง Digesta บริเวณลำไส้ส่วนซีกัมข้างซ้ายและขวาสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ โดยเก็บ Digesta ที่ได้ไว้ในถุงทุกขั้นตอนของการเก็บตัวอย่างต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในอากาศ ถุงตัวอย่างทั้งหมดจะถูกแช่ในน้ำแข็ง หลังจากนั้นนำ Digesta มาทำการเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.85% เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในแต่ละเชื้อและเลือกระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมมา 2 ระดับเพื่อนำไปใช้ในการตรวจนับเชื้อ *E. coli* และ Lactic acid bacteria (LAB) คือ ระดับความเข้มข้น 10^{-5} - 10^{-6} และ 10^{-7} -10^{-8} เท่า ตามลำดับ ซึ่งอาหารที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (Selective medium) เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ต้องการให้เจริญได้เท่านั้น โดยนำตัวอย่างเชื้อมาตรวจนับเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้เชื้อ *E. coli* เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mac-CONKEY-Agar (MCK agar) เชื้อ Lactic acid bacteria (LAB) เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth)

3.3 การเก็บข้อมูล

3.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

3.3.2 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว โดยชั่งไก่ทุกตัวในกลุ่มทดลอง เมื่ออายุ 1, 17 และ 35 วัน แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

3.3.3 บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุของแต่ละกลุ่มการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณอาหารที่กินต่อตัว และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร

3.3.4 บันทึกความสูงของวิลลัสโดยวัดจาก villus tip ถึง villus-crypt junction การวัดความลึกของคริปต์ออฟลีแบร์คืนจะวัดความลึกระหว่าง 2 วิลไลที่อยู่ติดกันและ สัดส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ออฟลีแบร์คืน

3.3.5 บันทึกจำนวนประชากรจุลิทรีย์ *E. coli* และ Lactic acid bacteria (LAB) ในซีกัมของไก่เนื้อ

3.4 ข้อมูลที่ทำการศึกษา

3.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

3.4.2 ประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินได้และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ซึ่งมีสูตรคำนวณ ดังนี้

น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น = น้ำหนักตัวสุดท้าย – น้ำหนักตัวเริ่มต้น

ปริมาณอาหารที่กินได้ = ปริมาณอาหารสุดท้าย - ปริมาณอาหารเริ่มต้น

และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed gain ratio) = $\frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$

3.4.3 สัณฐานวิทยาลำไส้เล็ก ได้แก่ ความสูงของ villi ความลึกของ crypt พื้นที่ของ villi และอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt

3.4.4 จำนวนประชากรจุลินทรีย์ *E. coli* และ Lactic acid bacteria (LAB) ในซีกัมของไก่เนื้อ

3.5 การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบโภชนะต่าง ๆ ในรำละเอียดและอาหารที่ใชทำการทดลองคือความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า โดยวิธี proximate analysis (A.O.A.C., 1990) แคลเซียมและฟอสฟอรัส โดยวิธี atomic absorption และวิเคราะห์หาพลังงานโดยใช bomb calorimeter

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยสถิติ (t-test comparison)

นำข้อมูลประสิทธิภาพการผลิต สัณฐานวิทยาลำไส้เล็ก และจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัม มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ต่อการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด พบว่ารำละเอียดมีค่าวัตถุแห้ง 89.51% พลังงานรวม 4,326.83 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 14.70% ไขมันรวม 25.65% เยื่อใยรวม 5.07% NDF 66.32% ADF 29.95% ADL 7.55% เถ้า 10.29% แคลเซียม 1.21% และฟอสฟอรัส 1.68% ดังแสดงในตารางที่ 7

การรายงานของ Kangabam et al. (2014) Zhang et al. (2021) และ Theerakulkait et al. (2006) ที่พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียดมีพลังงาน 4,500 kcal/kg โปรตีนรวมอยู่ที่ 11.5-17.2% และไขมัน 23.7% ซึ่งสอดคล้องกับรำละเอียดจากงานทดลองนี้ แต่พบว่ารำละเอียดของงานทดลองมีค่าเยื่อใยรวม 5.07% ซึ่งต่ำกว่าที่ 6.1-31.5% อย่างไรก็ตาม พันธุ์ข้าวจะแตกต่างกันไปในแต่ละที่ อาจกระทบต่อคุณภาพและปริมาณของคุณสมบัติการทำงาน เช่น สารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณใยอาหาร รำข้าวเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากขั้นตอนของกระบวนการสีข้าว ซึ่งส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวแปรผันอย่างมาก (Singh, 2021) Laokuldilok (2013) รายงานว่าเวลาที่ใช้ในการสีข้าวที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้รำละเอียดมี โปรตีน เยื่อใย และเถ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณเยื่อใยของรำละเอียดจากงานทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Singthong (2016) ที่พบว่ารำละเอียดของข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) มีเยื่อใยหยาบอยู่ที่ 5.85%

จากการวิเคราะห์หาชนิดของเยื่อใยในรำละเอียด พบว่ามีเซลลูโลส 19.66 และเฮมิเซลลูโลส 36.37 เปอร์เซ็นต์ โดยเยื่อใยในกลุ่มเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ไซแลน แมนแนน และกลูแคน แต่ที่พบส่วนใหญ่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์คือ ไซแลน และแมนแนน ประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวไซโลส และแมนโนสเป็นหลัก (Brunner, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Sunphorka S et al. (2012) ที่พบว่ารำละเอียดมีสัดส่วนของเฮมิเซลลูโลส 31.1 และ เซลลูโลส 15.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าเซลลูโลส ดังนั้นเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่เหมาะสำหรับใช้ย่อย

เยื่อใยในรำละเอียดคือ เซลลูเลส และไซลาเนส แต่ไม่สอดคล้องกับรายงานของ Ghodrat et al. (2015) ที่พบว่ารำละเอียดมีสัดส่วนของเซลลูโลสสูงกว่าเฮมิเซลลูโลส ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่แตกต่างกันตามแหล่งของวัตถุดิบ สอดคล้องกับ พีรพจน์ และ กฤตพล (2550) ที่รายงานว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดมีคุณค่าทางโภชนะผันแปรแตกต่างกันไปตามชนิด สายพันธุ์แหล่งที่เพาะปลูก และการจัดการ จึงส่งผลทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะที่แตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด (as-fed basis, %)

รายการ	**องค์ประกอบทางเคมี**
Dry matter	89.51
Gross energy (kcal/kg)	4,326.83
Crude protein	14.70
Crude fat	25.65
Ash	7.55
Calcium	1.21
Total phosphorus	1.68
Crude fiber	5.07
Neutral detergent fiber (NDF)	66.32
Acid detergent fiber (ADF)	29.95
Acid detergent lignin (ADL)	10.29
Hemicellulose	36.37
Cellulose	19.66
Lignin	10.29

4.1.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด

จากการศึกษาผลของการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion) ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า RB และ RB+E มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 3,606.89

และ 5,531.56 µg/ml พบว่า S และ S+E มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 23,422.18 และ 27,836.28 µg/ml และพบว่า G และ G+E มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 10,153.78 และ 25,369.55 µg/ml ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.001) ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยกลุ่ม RB+E S+E และ G+E ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม มีค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการใช้ด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม

ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ พรพรรณ และคณะ (2563) ที่พบว่ากากกะทิและเปลือกตาลที่ย่อยด้วยเอนไซม์ โดยเอนไซม์ที่มีองค์ประกอบของ endo-1,4-β-mannanase เป็นหลัก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ กากมะพร้าวในกลุ่มที่ย่อยด้วยเอนไซม์มีผลผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้นจากกลุ่มที่ไม่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (P<0.05) ถึง 3.08 mg/ml ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกตาลในกลุ่มที่ย่อยด้วยเอนไซม์มีผลผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้นจากกลุ่มที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์เพียง 0.18 mg/ml เท่านั้น (P<0.05) จะเห็นได้ว่า เอนไซม์ endo-1,4- β-mannanase (Hemicell®) ซึ่งมีองค์ประกอบของแมนนาเนสเป็นหลัก เหมาะสมกับการย่อยกากมะพร้าวที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในรูปของแมนโนโพลีแซคคาร์ไรด์ (เฮมิเซลลูโลส) มากกว่าเปลือกตาล เนื่องจากมีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูงกว่าเฮมิเซลลูโลส ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสูงกว่าการย่อยเปลือกตาล เช่นเดียวกับรายงานของ บุญญาทิพย์ และ ศศิธร (2557) ที่รายงานว่าการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของกากมะพร้าวที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสัดส่วนต่างๆ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้นกว่ากลุ่มกากมะพร้าวที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ จากการที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นจากการย่อยด้วยเอนไซม์แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเยื่อใย และปลดปล่อยน้ำตาลออกมา เช่นเดียวกับรายงานของ พรพรรณ และคณะ (2558) ที่พบว่าเยื่อหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 4.43 mg/ml สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ 0.07 mg/ml ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการย่อยได้ของอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion)

Treatment	Reducing sugar (µg/ml)	Total sugar (µg/ml)
RB	3,606.89	27,842.86
RB+E	5,531.56	27,495.65
***P*-Value**	≤0.001	0.2284
S	23,422.18	28,485.91
S+E	27,836.28	31,745.01
***P*-Value**	≤0.001	≤0.001
G	10,153.78	27,288.80
G+E	25,369.55	29,578.15
***P*-Value**	≤0.001	≤0.001

1/ RB = rice bran, RB+E = rice bran with enzyme, S = supplemented rice bran in starter diet, S+E = supplemented rice bran in starter diet with enzyme, G = supplemented rice bran in grower diet, G+E = supplemented rice bran in grower diet with enzyme

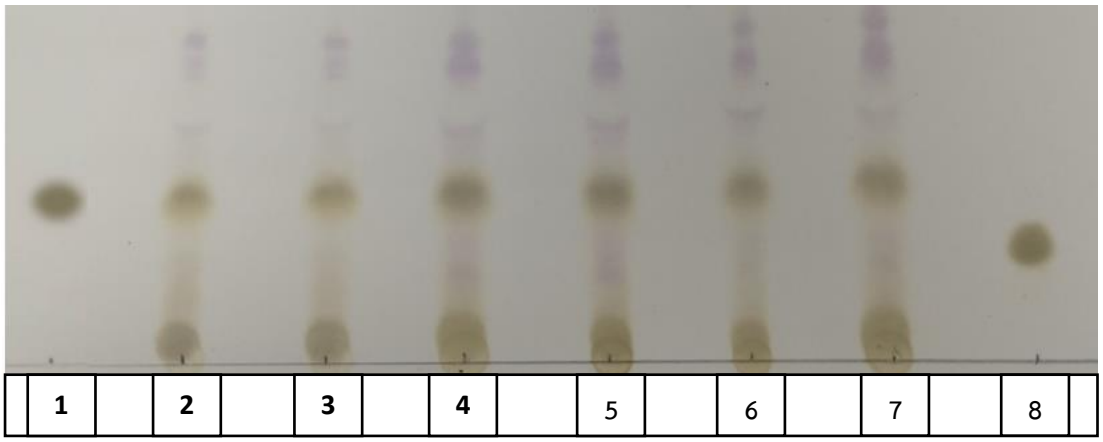
การศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมมีความเป็นไปได้ในการใช้ย่อยเยื่อใยในรำละเอียด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่าง ๆ ก่อนหน้านี้ที่พบว่าการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยสามารถเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะได้สูงขึ้น Saenphoom et al. (2011) รายงานว่าการใช้เอนไซม์เบต้า- แมนนาเนส เซลลูเลส ร่วมกับเอนไซม์อัลฟ่า-กาแลคโตซิเดส ในกากปาล์ม พบว่าเอนไซม์ที่ใช้ในการศึกษานั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเยื่อในในกากปาล์ม และลดปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสลดลง 34.81 และ 22.14% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กลูโคส แมนโนส กาแลคโตส และไซโลส) ได้เปรียบเทียบกับกลุ่ม

ควบคุม และ Meng et al. (2005) รายงานว่า การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยในหลอดทดลองนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของเยื่อใยได้สูงขึ้น

องค์ประกอบของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่สามารถมีอิทธิพลต่อการใช้สารอาหารและสรีรวิทยาทางเดินอาหาร โดยเฉพาะสารต้านโภชนาการ (Kiarie et al., 2010) จุดเน้นของการศึกษาในปัจจุบันจะเป็นการศึกษาชนิดของเส้นใยในรำละเอียด ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเคมีก่อนการทดลองจึงเน้นที่การกำหนดลักษณะของเส้นใย เพื่อใช้สำหรับการเลือกกิจกรรมของเอนไซม์

4.1.2 การวิเคราะห์ชนิดน้ำตาลด้วยเทคนิค Thin layer chromatography (TLC)

เมื่อวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion) โดยใช้วิธี TLC ดังแสดงในภาพที่ 25 เปรียบเทียบกับกลูโคสและเซลโลไบโอส (Cellobiose) พบว่าโอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นของทั้ง 6 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน โดยผลผลิตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ แสดงให้เห็นว่ามีกลูโคสและโอลิโกแซคคาไรด์ (แถวที่ 2-7) โดยผลผลิตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบ เนื่องจาก การเคลื่อนที่ของผลผลิตที่ได้จากการย่อยสามารถเคลื่อนที่ไปอยู่แนวเดียวกับน้ำตาลกลูโคส (แถวที่ 1) และน้ำตาลชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบ ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ เนื่องจากผลผลิตที่ได้การจากย่อยเคลื่อนที่อยู่ตำแหน่งที่ต่ำกว่าน้ำตาลเซลโลไบโอส (แถวที่ 8) แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ต้องเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลมากกว่าน้ำตาลเซลลูโลไบโอต ซึ่งสอดคล้องกับ พรพรรณ และ สุภาวดี (2557) รายงานว่าโอลิโกแซคคาไรด์ของกลุ่มกากชาที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์กับกลุ่มที่ย่อยด้วยเอนไซม์ที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับรายงานของ ภูมิพัฒน์ และคณะ (2564) รายงานว่าโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยกากมะพร้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกร่วมกับเอนไซม์มีน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่ใกล้เคียงกับโอลิโกแซคคาไรด์



ภาพที่ 25 โอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion) แถวที่ 1 = น้ำตาลกลูโคส, แถวที่ 2 = รำละเอียด, แถวที่ 3 = รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม, แถวที่ 4 = อาหารไก่เล็กที่ใช้รำละเอียด, แถวที่ 5 = อาหารไก่เล็กที่ใช้รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม, แถวที่ 6 = อาหารไก่รุ่นที่ใช้รำละเอียด, แถวที่ 7 = อาหารไก่รุ่นที่ใช้รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม, แถวที่ 8 = น้ำตาลเซลโลไบโอส

4.2 **การทดลองที่** 2 **การศึกษาประสิทธิภาพการผลิต สัณฐานวิทยาลำไส้และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ**

4.2.1 **องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง**

อาหารทดลองสำหรับไก่แต่ละช่วงอายุจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง พบว่าอาหารไก่เนื้อสำหรับไก่เล็ก อายุ 1-17 วัน กลุ่มที่ 1 (T1) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 88.80%พลังงานรวม 3,822.13 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 22.27% ไขมันรวม 5.14% เยื่อใยรวม 2.75% เถ้า 5.30% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารกลุ่มทดลองที่ 2 (T2) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 88.91% พลังงานรวม 3,991.47 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 23.75% ไขมันรวม 5.81% เยื่อใยรวม 3.14% เถ้า 5.40% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารกลุ่มทดลองที่ 3 (T3) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 88.97% พลังงานรวม 3,955.80 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 23.69% ไขมันรวม 5.50% เยื่อใยรวม 2.72% เถ้า 5.37% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารกลุ่มทดลองที่ 4 (T4) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 89.22%พลังงานรวม 3,888.77 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 22.27% ไขมันรวม 5.39% เยื่อใยรวม 2.76% เถ้า 5.32% แคลเซียม และฟอสฟอรัส และในอาหารกลุ่มทดลองที่ 5 (T5) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 89.20% พลังงานรวม 4,003.53 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 23.32% ไขมันรวม 5.94% เยื่อใยรวม 3.01% เถ้า 5.62% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ดังแสดงในตารางที่ 9 ค่าวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองนั้นมีค่าโปรตีนใกล้เคียงกับความต้องการโภชนะของไก่เนื้อตามที่ระบุไว้ คือ พลังงานรวม 3,200 แคลอรี่ต่อกิโลกรัม โปรตีน 21-22% ไขมันไม่เกิน 5% แคลเซียมไม่ต่ำกว่า 0.85% และเยื่อใยไม่เกิน 5% (Akinbobola, 2018; NRC, 1994)

อาหารไก่เนื้อสำหรับไก่รุ่น อายุ 18- 35 วัน พบว่ากลุ่มที่ 1 (T1) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 88.46% พลังงานรวม 3,857.13 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 21.48% ไขมันรวม 4.68% เยื่อใยรวม 2.64% เถ้า 4.92% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารกลุ่มทดลองที่ 2 (T2) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 88.99% พลังงานรวม 4,014.23 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 19.97% ไขมันรวม 8.03% เยื่อใยรวม 2.89% เถ้า 5.10% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารกลุ่มทดลองที่ 3 (T3) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 88.37% พลังงานรวม 3,958.57 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 20.54% ไขมันรวม 8.12% เยื่อใยรวม 3.24% เถ้า 5.61% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารกลุ่มทดลองที่ 4 (T4) มีปริมาณค่าวัตถุแห้ง 89.02% พลังงานรวม 4,047.47 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 21.09% ไขมันรวม 8.30% เยื่อใยรวม 3.33% เถ้า 6.10% แคลเซียม และฟอสฟอรัส และในอาหารกลุ่มทดลองที่ 5 (T5) มีปริมาณค่าวัตถุ

แห้ง 88.86% พลังงานรวม 4,017.70 แคลอรี่ต่อกรัม โปรตีนรวม 21.02% ไขมันรวม 8.02% เยื่อใยรวม 3.36% เถ้า 5.68% แคลเซียม และฟอสฟอรัส ดังแสดงในตารางที่ 9 ค่าวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองนั้นมีค่าโปรตีนใกล้เคียงกับความต้องการโภชนะของไก่เนื้อตามที่ระบุไว้ คือ พลังงานรวม 3,200 แคลอรี่ต่อกิโลกรัม โปรตีน 19-20% ไขมันไม่เกิน 5% แคลเซียมไม่ต่ำกว่า 0.85% และเยื่อใยไม่เกิน 8% (Akinbobola, 2018; NRC, 1994)

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารไก่เนื้อในระยะไก่เล็ก (อายุ 1-17 วัน) และระยะไก่รุ่น (อายุ 18-35 วัน) (as-fed basis, %)

	Starter, d 1 to 17*				
Chemical composition (%)	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
Dry matter	88.80	88.91	88.97	89.22	89.20
Gross energy (kcal/kg)	3,822.13	3,911.47	3,955.80	3,988.77	4,003.53
Crude protein	22.72	23.75	23.69	22.27	23.32
Crude fat	5.14	5.81	5.50	5.39	5.94
Ash	5.30	5.40	5.37	5.32	5.62
Calcium	0.91	0.87	0.85	0.86	0.86
Total phosphorus	0.76	0.69	0.7	0.77	0.75
Crude fiber	2.75	3.14	2.72	2.76	3.01
Neutral detergent fiber (NDF)	11.38	11.81	11.76	12.24	12.38
Acid detergent fiber (ADF)	4.91	5.07	5.11	6.72	6.65
Acid detergent lignin (ADL)	0.73	0.83	0.92	1.05	0.98
	Grower, d 17 to 35**				
Chemical composition (%)	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
Dry matter	88.46	88.99	88.37	89.02	88.68
Gross energy (kcal/kg)	3,857.13	4,014.23	3,958.57	4,047.47	4,017.70
Crude protein	21.48	19.97	20.54	21.09	21.02
Crude fat	4.68	8.03	8.12	8.30	8.02
Ash	4.92	5.10	5.61	6.10	5.68
Calcium	0.87	0.9	0.88	0.95	0.97
Total phosphorus	0.67	0.81	0.85	0.8	0.84
Crude fiber	2.64	2.89	3.24	3.33	3.36
Neutral detergent fiber (NDF)	11.42	11.89	11.74	12.08	11.95
Acid detergent fiber (ADF)	4.5	4.93	4.86	5.21	4..98
Acid detergent lignin (ADL)	0.71	0.84	0.82	0.97	0.91

* T1 = control (0% of rice bran), T2 = supplemented rice bran at 7.5%, T3 = supplemented rice bran at 7.5% with enzyme, T4 = supplemented rice bran at 10%, T5 = supplemented rice bran at 10% with enzyme

** T1 = control (0% of rice bran), T2 = supplemented rice bran at 12.5%, T3 = supplemented rice bran at 12.5% with enzyme, T4 = supplemented rice bran at 15%, T5 = supplemented rice bran at 15% with enzyme

4.2.2 สมรรถภาพการเจริญเติบโต

อายุ 1-17 วัน การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน โดย

กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1)

กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% (T2)

กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3)

กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% (T4)

กลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5)

จากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 500.19 501.05 511.33 480.28 และ 488.00 กรัม/ตัว ปริมาณอาหารที่กิน 682.95 652.33 643.38 621.38 และ 633.68 กรัม/ตัว และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร 1.38 1.30 1.26 1.30 และ 1.30 ตามลำดับ ซึ่งทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่าง (P>0.05) (ตารางที่ 10) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sanchez et al. (2019) รายงานว่าการใช้รำละเอียดที่ระดับ 5% ในอาหารไก่เนื้อและการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (Multi-enzyme supplement (MES) Canadian Bio-Systems, Calgary, AL, Canada) ที่ประกอบไปด้วย xylanase, β-glucanase, invertase, protease, cellulase, amylase, mannanase ในช่วงอายุ 0-24 วัน มีปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อีกทั้งสอดคล้องกับการทดลอง Deniz et al. (2007) ได้ทำการศึกษาการใช้รำละเอียด และใช้เอนไซม์ในอาหารไก่ โดยใช้เอนไซม์ (BASF AG., Ludwigshafen, Germany) ที่ประกอบไปด้วย 55,000 endo xylanase units (EXU), 1,200 beta-glucanase units (BGU) ทำการใช้ที่ระดับ 0.5 กรัม/กิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่าไก่เนื้อในช่วงอายุ 0-21 วัน มีปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

อายุ 18-35 วัน การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 18-35 วัน โดย

กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1)

กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 12.5% (T2)

กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 12.5% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3)

กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 15% (T4)

กลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 15% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5)

จากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 18-35 วัน พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1,527.90 1,455.81 1,496.76 1,506.03 และ 1,522.33 กรัม/ตัว ตามลำดับซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ปริมาณอาหารที่กิน 2,252.76 2,058.38 2,088.38 2,014.88 และ 2,083.70 กรัม/ตัว ตามลำดับ โดย T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีปริมาณอาหารที่กินสูงกว่ากลุ่ม T2 และ T4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ T3 และ T5 (P>0.05) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร 1.78 1.41 1.39 1.34 และ 1.37 โดยกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่สูงกว่ากลุ่ม T4 และ T5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม T2 และ T3 (P>0.05) ดังตารางที่ 11 ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Oladunjoye and Ojebiyi (2010) ที่ทำการศึกษาการใช้รำละเอียดและการใช้เอนไซม์ Roxazyme G2G ที่ประกอบไปด้วย endo 1,4 beta-glucanase, endo-1,3 beta-glucanase และ endo-1,4, beta-xylanase ที่ระดับ 150 กรัม/ตัน ในช่วงไก่รุ่น ผลการศึกษาพบว่าอิทธิพลร่วมของการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่พบว่าการใช้รำละเอียดในอาหารมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร โดยในกลุ่มควบคุมมีค่าที่ดีกว่ากลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) อีกทั้งสอดคล้องกับการทดลองของ Sanchez et al. (2019) รายงานว่าการใช้รำละเอียดและการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ในช่วงอายุ 25-35 วันพบว่าน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินได้ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

อายุ 1-35 วัน การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 1-35 วัน โดย

กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1)

กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% ในระยะไก่เล็ก และ 12.5% ในระยะไก่รุ่น (T2)

กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% ในระยะไก่เล็ก และ 12.5% ในระยะไก่รุ่น + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3)

กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% ในระยะไก่เล็ก และ 15% ในระยะไก่รุ่น 15% (T4)

กลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% ในระยะไก่เล็ก และ 15% ในระยะไก่รุ่น + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5)

จากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 1-35 วัน พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 2,028.10 1,956.86 2,008.10 1,988.84 และ 2,015.14 กรัม/ตัว ตามลำดับซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม T1 ปริมาณอาหารที่กิน 2,949.33 2,710.71 2,731.76 2,647.55 และ 2,724.33 กรัม/ตัว ตามลำดับ โดยกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีปริมาณอาหารที่กินสูงกว่ากลุ่มทดลอง T2 T3 T4 และ T5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร 1.45 1.38 1.36 1.33 และ 1.35 โดยกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่สูงกว่ากลุ่มทดลอง T3 T4 และ T5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลอง T2 ($P>0.05$) ดังตารางที่ 12 ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Deniz et al. (2007) ในช่วงอายุ 0-42 วัน ผลการศึกษาพบว่าอิทธิพลร่วมของการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับผลของการใช้เอนไซม์ แต่พบว่าการใช้รำละเอียดในอาหารมีผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการกินได้ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร โดยในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดที่ระดับ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมที่ระดับ 0.02% ในอาหารที่ใช้รำละเอียดในระยะไก่เล็ก 7.5 และ 12.5% ระยะไก่รุ่น 10 และ 15% ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารส่งผลทำให้ลดปริมาณอาหารที่กิน (FI) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) ซึ่งเป็นผลมาจากอาหารที่มีเยื่อใยสูงอาจส่งผลทำให้ลดปริมาณอาหารที่กิน (FI), ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (FCR) และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (BWG) ของสัตว์ปีกได้ (Jha and Mishra, 2021) สังเกตได้จากเพิ่มระดับของรำละเอียด ทำให้มีเยื่อใยที่สูงขึ้นในสูตรอาหารทดลอง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Saadatmand et al. (2019) ที่พบว่า การใช้เยื่อใยในระดับที่สูงขึ้นจากกากหัวผักกาดหวาน (Sugar beet pulp) และแกลบ (Rice hull) ในอาหารไก่เนื้อส่งผลทำให้ไก่เนื้อมีปริมาณการกินได้ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (P<0.05) Khempaka et al. (2009) รายงาน Zare-Sheibani et al. (2015) ว่าการใช้รำละเอียดในระดับที่สูงถึง 20-30% มีผลลดการกินได้ เนื่องจากเยื่อใยในรำละเอียดจะเพิ่มความฟ่าม เบา เป็นฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำ และไม่น่ากิน รวมถึงระดับเยื่อใยที่สูงเกินไป ยังส่งลดการการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะด้วย (Weiss and Scott, 1979)

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลอง (ตารางที่ 9) พบว่าอาหารที่มีรำละเอียดจะมีพลังงานรวมสูงกว่า ซึ่งน่าจะเชื่อมโยงกับปริมาณไขมันในรำละเอียดที่สูง อาหารสัตว์ปีกที่มีไขมันสูงคาดว่าจะลดการบริโภคอาหารและลดประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (Slominski et al., 1994)

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (FCR) ในช่วงอายุ 18-35 วันในกลุ่ม T4 และ T5 ที่มีการใช้รำละเอียดในอาหาร 15% มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (FCR) ที่ดีกว่ากลุ่มควบคุม มีการสันนิษฐานว่าสัตว์ปีกต้องการอาหารที่มีเยื่อใยในปริมาณปานกลางเพื่อการพัฒนาและการทำงานของลำไส้ที่เหมาะสม (Mateos et al. , 2012) โครงสร้างของอาหารมีความสำคัญอย่างยิ่งในการกระตุ้นการพัฒนาของกึ๋น ส่งผลต่ออัตราการย่อยอาหาร และปรับปรุงการเคลื่อนไหวของลำไส้โดยการเพิ่มการหลั่งของต่อมไร้ท่อ (endocrine cholecystokinin) ซึ่งกระตุ้นการหลั่งของเอนไซม์ตับอ่อน (Mateos et al. , 2012; Xu et al., 2015) ในทำนองเดียวกัน Wang et al. (1997) สังเกตขนาดทางเดินอาหารที่เพิ่มขึ้นในไก่ที่เลี้ยงด้วยรำละเอียด เวลากักเก็บอาหารในกึ๋นจะนานขึ้น และเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหารสัตว์กับน้ำย่อย ดังนั้นจึงช่วยปรับปรุงการย่อยอาหารและประสิทธิภาพการใช้อาหาร นอกจากนี้ Shirzadegan and Taheri (2017) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของระดับเยื่อใยในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลทำให้ปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่ดีขึ้น โดยพบว่าการใช้กากถั่วอัลฟาฟ่า รำละเอียด และขี้เลื่อยมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่ดีกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นหลัก

ข้าวโพด ข้าวสาลี และกากถั่วเหลือง (SBM) เป็นองค์ประกอบหลักของอาหารสัตว์ปีก ซึ่งให้พลังงานและโปรตีน นอกจากข้าวโพด ข้าวสาลี และ SBM แล้ว ธัญพืชที่อุดมด้วยเยื่อใยยังสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นอาหารทดแทนในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Jha and Berrocoso, 2015) แหล่งธัญพืชที่อุดมไปด้วยเยื่อใยตามแบบทั่วไป ได้แก่ รำข้าวสาลี Soybean peroxidase (SBP)

Sunflower hull (SFH) เมล็ดทานตะวัน (SFM) เมล็ดฝ้าย เปลือกข้าวโอ๊ต เปลือกถั่วเหลือง (SBH) เปลือกถั่ว (Jha and Mishra, 2021) ไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วย SBP 23 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีปริมาณอาหารและน้ำหนักตัวที่สูงขึ้นและประสิทธิภาพการให้อาหารที่ดีกว่ากลุ่มควบคุม อาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เปลือกข้าวโอ๊ตในปริมาณปานกลาง (ระหว่าง 2% ถึง 3%) มักจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเส้นใยต่ำ (Mateos et al. , 2012)

จากการศึกษาในครั้งนี้เยื่อใยที่อยู่ในรำละเอียดส่วนใหญ่ เป็นเยื่อใยประเภทเฮมิเซลลูโลส ที่ประกอบไปด้วยเยื่อใยชนิดไซแลน และแมนแนนเป็นส่วนใหญ่ (Wyman et al., 2005) จัดอยู่ในกลุ่มเยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำ โดยเยื่อใยดังกล่าวจะเป็นตัวดูดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหาร ทำให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะสูงและไม่มีความหนืด อาหารจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ทำงานได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง รวมถึงปริมาณเยื่อใยที่สูงเกินไปอาจขัดขวางการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ ของโภชนะอื่น ๆ ด้วย

การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในรำละเอียดอาจเป็นผลมาจากเยื่อใยที่ละลายน้ำที่อยู่ในรำละเอียดร่วมด้วย ซึ่งเยื่อใยที่ละลายน้ำจะดูดซับน้ำและเปลี่ยนรูปเป็นเจล ทำให้เพิ่มความหนืดในระบบทางเดินอาหาร และลดอัตราการผ่าน (rate of passage: ROP) ในทางเดินอาหาร (GIT) มีผลต่อเวลาที่ได้รับอาหารต่อกระบวนการย่อยอาหารและการดูดซึม ซึ่งส่งผลทำให้ลดปริมาณการบริโภคอาหาร (FI) และอัตราของการดูดซึมสารอาหารและอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ปีก (Jha and Mishra, 2021)

Mateos et al. (2012) เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำในระดับปานกลางในอาหารสัตว์ปีกอาจเพิ่มเวลาการเก็บไคม์ (chyme) ในตอนบนส่วนหนึ่งของระบบทางเดินอาหาร กระตุ้นการพัฒนากึ๋นและการผลิตเอนไซม์ภายในร่างกาย การปรับปรุงการย่อยได้ของแป้ง ไขมัน และส่วนประกอบอาหารอื่นๆ ปัจจุบันได้มีการตกลงกันว่าเส้นใยที่ละลายน้ำได้จะถูกหมักอย่างรวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ (Jha and Zijlstra, 2018) เยื่อใยจัดเป็นปัจจัยต่อต้านโภชนาการในอาหารสัตว์ปีก รายงานหลายฉบับแสดงให้เห็นว่าปริมาณใยอาหารมีผลต่อการย่อยได้ของโปรตีนและไขมัน รายงานเหล่านั้นยังระบุด้วยว่าองค์ประกอบเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นของอาหารส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและทำให้การกักเก็บสารอาหารในไก่ลดลง เยื่อใยเหล่านี้ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ย่อยอาหารในลำไส้เล็ก แต่สามารถหมักได้ในระดับหนึ่งโดยจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร (Jha et al., 2015; Williams et al., 2017)

เมื่อพิจารณาผลการผลการทดลองการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion) ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่ากลุ่มที่ใช้ด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม มีค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการใช้ด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมแต่ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีการทดลองในสัตว์ทดลองนั้น ไม่สามารถควบคุมข้อจำกัดที่สำคัญได้ เช่น การบริโภคเป็นเวลานานและการเปลี่ยนแปลงในสภาพของสัตว์

นอกจากนี้ ผลกระทบของเอนไซม์จากภายนอกยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ส่วนผสมในอาหาร ต้นกำเนิดของเอนไซม์ และอัตราการใช้ ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ไม่สอดคล้องกันมากยิ่งขึ้น (Liu et al., 2021)

ตารางที่ 10 ผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน

Parameters	Starter, d 1 to 17*					SEM	*P*-Value
	T1	T2	T3	T4	T5		
IBW (g)	40.19±0.33	41.33±0.24	39.81±0.51	40.29±0.65	40.29±0.53	0.26	0.44
FBW (g)	540.38±48.68	542.38±11.64	551.14± 13.77	515.52±54.38	528.29±62.42	7.26	0.60
BWG (g/bird)	500.19±48.88	501.05±12.50	511.33±13.86	480.28±55.83	488.00±62.74	7.27	0.71
FI (g/bird)	682.95±46.73	652.33±19.54	643.38±28.08	621.38±46.43	633.68±73.55	8.23	0.17
FCR	1.38±0.16	1.30±0.04	1.26±0.05	1.30±0.12	1.30±0.07	0.02	0.28

* T1 = control (0 % of rice bran), T2 = supplemented rice bran at 7 .5 % , T3 = supplemented rice bran at 7 .5 % with enzyme, T4 = supplemented rice bran at 10%, T5 = supplemented rice bran at 10% with enzyme

IBW = initial body weight; FBW = final body weight; BWG = body weight gain; FI = feed intake; FCR = feed conversion ratio.

SEM: Standard error of the mean

ตารางที่ 11 ผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 18-35 วัน

Parameters	Grower, d 17 to 35*					SEM	*P*-Value
	T1	T2	T3	T4	T5		
IBW (g)	540.38±48.68	542.38±11.64	551.14± 13.77	515.52±54.38	528.29±62.42	7.26	0.60
FBW (g)	2,068±16.92	1,978.76±50.41	2047.90±39.85	2,029.57±90.85	2,055.84±139.07	13.79	0.29
BWG (g/bird)	1,527.90±42.84	1,455.81±82.05	1,496.76±30.64	1,506.03±71.93	1,522.33±90.06	11.58	0.31
FI (g/bird)	2,252.76±98.32^{a}	2,058.38±75.72^{b}	2,088.38±71.30^{ab}	2,014.88±156.32^{b}	2,083.70±133.39^{ab}	22.55	0.01
FCR	1.48±0.08^{b}	1.41±0.05^{ab}	1.39±0.04^{ab}	1.34±0.07^{a}	1.37±0.04^{a}	0.01	0.001

* T1 = control (0 % of rice bran), T2 = supplemented rice bran at 12.5% , T3 = supplemented rice bran at 12. 5 % with enzyme, T4 = supplemented rice bran at 15%, T5 = supplemented rice bran at 15% with enzyme

IBW = initial body weight; FBW = final body weight; BWG = body weight gain; FI = feed intake; FCR = feed conversion ratio.

a,b Means with different superscripts in a same row differ highly significantly (P<0.01)

SEM: Standard error of the mean

ตารางที่ 12 ผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่อายุ 1-35 วัน

Parameters	Experiment diets, d 1 to 35*					SEM	*P*-Value
	T1	T2	T3	T4	T5		
IBW (g)	40.19±0.33	41.33±0.24	39.81±0.51	40.29±0.65	40.29±0.53	0.26	0.44
FBW (g)	2,068±16.92	1,978.76±50.41	2047.90±39.85	2,029.57±90.85	2,055.84±139.07	13.79	0.29
BWG (g/bird)	2,028.10±17.19	1,956.86±90.68	2,008.10±40.01	1,988.84±91.11	2,015.14±139.11	14.44	0.59
FI (g/bird)	2,949.33±96.03^{a}	2,710.71±86.65^{b}	2,731.76±83.58^{b}	2,647.55±185.21^{b}	2,724.33±204.57^{b}	28.53	0.01
FCR	1.45±0.04^{a}	1.38±0.05^{ab}	1.36±0.04^{b}	1.33±0.06^{b}	1.35±0.03^{b}	0.01	<0.01

* T1 = control (0% of rice bran), T2 = supplemented rice bran at 7.5% in starter diet and 12.5% in grower diet, T3 = supplemented rice bran at 7.5% in starter diet and 12.5% in grower diet (with enzyme), T4 = supplemented rice bran at 10% in starter diet and 15% in grower diet, T5 = supplemented rice bran at 10% in starter diet and 15% in grower diet (with enzyme)

IBW = initial body weight; FBW = final body weight; BWG = body weight gain; FI = feed intake; FCR = feed conversion ratio.

a,b Means with different superscripts in a same row differ highly significantly ($P<0.01$)

SEM: Standard error of the mean

4.2.3 สัณฐานวิทยาลำไส้

การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กส่วนต้นของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน โดย

กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1)

กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% ในระยะไก่เล็ก และ 12.5% ในระยะไก่รุ่น (T2)

กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% ในระยะไก่เล็ก และ 12.5% ในระยะไก่รุ่น + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3)

กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% ในระยะไก่เล็ก และ 15% ในระยะไก่รุ่น 15% (T4)

กลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% ในระยะไก่เล็ก และ 15% ในระยะไก่รุ่น + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5)

ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum)

จากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กส่วนต้นของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความสูงของ villi เท่ากับ 1.52 1.45 1.58 1.46 และ 1.43 มิลลิเมตร ตามลำดับซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีค่าความสูงของ villi ที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความลึกของ crypt เท่ากับ 0.20 0.22 0.23 0.18 และ 0.20 มิลลิเมตร ตามลำดับซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) โดยกลุ่ม T4 และ T5 มีความลึกของ crypt ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่ม T1 T2 และ T3

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีพื้นที่ผิวของ villi เท่ากับ 0.31 0.27 0.30 0.24 และ 0.28 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) โดยกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมมีพื้นที่ผิวของ villi มากที่สุด เมื่อเทียบกับ T4 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดในอาหารไก่เนื้อ

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt เท่ากับ 8.57 7.26 8.03 8.89 และ 8.43 ตามลำดับซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ 4 มีค่าอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt มากที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่ม T1 และ T2 แต่มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่ม T3 และ T5

ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum)

จากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กส่วนกลางของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความสูงของ villi เท่ากับ 1.52 1.45 1.58 1.46 และ 1.43 มิลลิเมตร ตามลำดับ พื้นที่ผิวของ villi เท่ากับ 0.29 0.30 0.33 0.31 และ 0.32 ตารางมิลลิเมตรซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความลึกของ crypt เท่ากับ 0.21 0.20 0.21 0.19 และ 0.15 มิลลิเมตร ตามลำดับ อัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt เท่ากับ 7.40 7.58 7.65 7.80 และ 9.80 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.001) โดยกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใย มีความลึกของ crypt ต่ำที่สุด และอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง

ลำไส้เล็กส่วนปลาย (Ilium)

จากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กส่วนปลายของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความสูงของ villi เท่ากับ 0.97 1.21 1.00 1.02 และ 1.05 มิลลิเมตร ตามลำดับซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.001) โดยกลุ่ม T2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดมีค่าความสูงของ villi ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีความลึกของ crypt เท่ากับ 0.19 0.21 0.15 0.16 และ 0.16 มิลลิเมตร ตามลำดับซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.001) โดยกลุ่ม T3 T4 และ T5 มีความลึกของ crypt น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีพื้นที่ผิวของ villi เท่ากับ 0.15 0.20 0.14 0.16 และ 0.18 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.001) โดยกลุ่ม T2 มีพื้นที่ผิวของ villi มากที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่ม T1 T3 และ T4

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt เท่ากับ 5.27 5.87 6.58 6.58 และ 6.49 ตามลำดับซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.001) โดยกลุ่ม T3 T4 และ T5 มีค่าอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt มากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่ม T1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้ ได้แก่ ความสูงของ villi ความลึกของ crypt และอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ได้รับการยอมรับว่าเป็นตัวบ่งชี้ถึงสุขภาพของลำไส้และเกี่ยวข้องโดยตรงกับความสามารถในการดูดซับของชั้นเยื่อเมือก villi ในลำไส้คือบริเวณที่

สารอาหารส่วนใหญ่ถูกดูดซึม และความสูงของมันบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับของเยื่อบุลำไส้ คริปต์ออฟลีแบร์คืน (Crypt of Lieberkuhn) เป็นที่รู้จักกันว่าเป็นทำหน้าที่เหมือนสถานบริบาลทารกเมื่อเซลล์บุผิวลำไส้เล็กเกิดการหลุดจะมีการงอกทดแทนอย่างรวดเร็วโดยมีกิจกรรมการแบ่งเซลล์ (mitotic activity) สูงที่ส่วนของคริปต์เซลล์ที่เกิดใหม่จะค่อย ๆ เพิ่มจำนวนส่วนก้นของคริปต์ก่อนจะเคลื่อนตัวไปที่ส่วนของวิลไลและในกระบวนการนั้นจะเกิดการดันเอาเซลล์ที่อายุมากแล้วให้ไปยังส่วนปลายของวิลไลและหลุดออกไปยังส่วนโพรงลำไส้เล็กโดยอัตราการหลุดของเซลล์เข้าไปยังโพรงลำไส้เล็กจะมีประมาณ 100 ล้านเซลล์ในเวลา 1 นาที และความลึกของพวกมันสะท้อนถึงอัตราการผลิตของเนื้อเยื่อเพื่อให้แน่ใจว่ามีการต่ออายุของ villi อัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt เป็นเกณฑ์ที่มีประโยชน์สำหรับการประเมินความสามารถในการดูดซับของลำไส้เล็ก (Drazbo et al., 2018; Gungor and Erener, 2020; Shang et al., 2018)

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหาร ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงลักษณะสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กได้ แต่การใช้รำละเอียดในอาหารไก่เนื้อส่งผลทำให้ลักษณะสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กที่ดีขึ้น ความสูง villi ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการที่เซลล์ villi ได้รับพลังงานจากกรดไขมันสายสั้นที่ระเหยง่ายที่จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ผลิตขึ้นซึ่งกรดไขมันสายสั้นที่ระเหยง่ายเหล่านี้ไม่น้อยกว่า 95 เปอร์เซ็นต์จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เยื่อบุผิวลำไส้อย่างรวดเร็วและเกิดกระบวนการเมทาบอลิซึมขึ้นภายในเซลล์ (Gibson and Roberfroid, 1995) จึงส่งผลให้ความสูง villi เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shang et al. (2020) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้รำข้าวสาลี พบว่าการใช้รำข้าวสาลีที่ ระดับ 3% ในอาหารส่งผลให้ความสูงของ villi และอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลางและปลายเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้พบว่าการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารทำให้อัตราส่วนของความสูงต่อความลึกของ crypt มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่า กลุ่ม T4 และ T5 ที่มีความสูง villi ความลึกของ crypt ต่ำที่สุดนั้น แต่ส่งผลทำให้อัตราส่วนของความสูงต่อความลึกของ crypt มากขึ้น โดยความสูง villi และความลึกของ crypt เป็นลักษณะที่มีความสัมพันธ์กันแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบการย่อยและดูดซึมสารอาหาร (Montagne et al., 2003) ถ้าอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสของเซลล์ villi ต่อสารอาหารต่างๆเพิ่มขึ้นด้วยทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซึมสารอาหารเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายดีขึ้น (Ghaffari et al., 2007) ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Shakouri et al. (2009) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้ธัญพืชร่วมกับเอนไซม์ พบว่าทำให้ความสูงของ villi และอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt เพิ่มขึ้นในไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวสาลี ไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวบาร์เลย์มีความลึกของ crypt ที่สูงขึ้น และการลดความลึกของ crypt ในไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีข้าวฟ่างเป็นส่วนประกอบ รวมถึง Rezaei et al. (2011) ที่รายงานว่า ความลึกของ crypt ที่ต่ำและอัตราส่วนของความสูงต่อความลึกของ crypt ที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นทำให้ไก่ที่เลี้ยงด้วย MIF

(micronized insoluble fiber) ดูดซึมสารอาหารได้ดีกว่า ส่งผลให้มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นที่สูงและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารต่ำลง การเพิ่มขึ้นของความสูงของ villi และการลดลงของความลึกของ crypt ที่ลำไส้เล็กส่วนปลายที่เกิดจาก MIF แสดงให้เห็นว่า MIF อาจส่งผลดีต่อเยื่อบุลำไส้ เห็นด้วยกับการศึกษาของ Sarikhan et al. (2010) รายงานว่าการใช้เส้นใยดิบเข้มข้น (insoluble raw fiber) 0.5 และ 0.75% ที่ไม่ละลายน้ำในอาหารส่งผลให้ไก่เนื้อมีความสูงของ villi มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gungor and Erener (2020) ที่พบว่ากลุ่มที่มีการใช้กากเชอร์ที่หมักด้วย *Aspergillus niger* ที่ระดับ 1% ส่งผลทำให้อัตราส่วนของความสูงต่อความลึกของ crypt เพิ่มขึ้น (P<0.01) เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มทดลอง ส่วนการใช้กากเชอร์รี่ที่ระดับ 4% มีผลทำให้ลดความสูงของ villi (P<0.001) และอัตราส่วนของความสูงต่อความลึกของ crypt (P<0.01) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และไม่มีผลกระทบ (P>0.05) ต่อความลึกของ crypt ในทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 13 ผลของการเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กของไก่เนื้อ

Treatment	Villi height (mm)	Crypts depth (mm)	Villi area (mm^2)	Villi height/Crypts depth
Duodenum				
T1	1.39±0.02^{b}	0.20±0.01^{b}	0.31±0.06^{a}	8.57±1.81^{ab}
T2	1.55±0.13^{a}	0.22±0.01^{a}	0.27±0.03^{ab}	7.26±0.59^{b}
T3	1.64±0.01^{a}	0.23±0.01^{a}	0.30±0.02^{a}	8.03±1.05^{ab}
T4	1.57±0.01^{a}	0.18±0.01^{b}	0.24±0.03^{b}	8.89±0.34^{a}
T5	1.62±0.06^{a}	0.20±0.02^{b}	0.28±0.04^{ab}	8.43±1.19^{ab}
SEM	0.01	0.002	0.005	0.15
P-value	≤0.001***	≤0.001***	≤0.001***	0.0033 **
Jejunum				
T1	1.52±0.11	0.21±0.03^{a}	0.29±0.03	7.40±1.32^{b}
T2	1.45±0.19	0.20±0.04^{a}	0.30±0.06	7.58±1.07^{b}
T3	1.58±0.18	0.21±0.02^{a}	0.33±0.05	7.65±0.71^{b}
T4	1.46±0.27	0.19±0.03^{a}	0.31±0.08	7.80±1.61^{b}
T5	1.43±0.24	0.15±0.02^{b}	0.32±0.09	9.80±1.06^{a}
SEM	0.02	0.004	0.008	0.17
P-value	0.33	≤0.001***	0.5656	≤0.001***
Ilium				
T1	0.97±0.09^{b}	0.19±0.03^{ab}	0.15±0.03^{b}	5.27±0.70^{b}
T2	1.21±0.05^{a}	0.21±0.02^{a}	0.20±0.01^{a}	5.87±0.45^{ab}
T3	1.00±0.09^{b}	0.15±0.01^{c}	0.14±0.02^{b}	6.58±0.59^{a}
T4	1.02±0.12^{b}	0.16±0.02^{bc}	0.16±0.02^{b}	6.58±0.76^{a}
T5	1.05±0.15^{b}	0.16±0.02^{bc}	0.18±0.04^{ab}	6.49±0.82^{a}
SEM	0.02	0.003	0.004	0.10
P-value	≤0.001***	≤0.001***	≤0.001***	≤0.001***

a,b,c Means with different superscripts in a same column differ highly significantly (P<0.001)

SEM: Standard error of the mean

1/ T1 = control (0% of rice bran), T2 = supplemented rice bran at 7.5% in starter diet and 12.5% in grower diet,

T3 = supplemented rice bran at 7.5% in starter diet and 12.5% in grower diet (with enzyme), T4 = supplemented rice bran at 10% in starter diet and 15% in grower diet, T5 = supplemented rice bran at 10% in starter diet and 15% in grower diet (with enzyme)

4.2.3 ประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

ผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน โดย

กลุ่มที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (T1)

กลุ่มที่ 2 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% ในระยะไก่เล็ก และ 12.5% ในระยะไก่รุ่น (T2)

กลุ่มที่ 3 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 7.5% ในระยะไก่เล็ก และ 12.5% ในระยะไก่รุ่น + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T3)

กลุ่มที่ 4 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% ในระยะไก่เล็ก และ 15% ในระยะไก่รุ่น 15% (T4)

กลุ่มที่ 5 สูตรอาหารที่ใช้รำละเอียด 10% ในระยะไก่เล็ก และ 15% ในระยะไก่รุ่น + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (T5)

จากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *E. coli* เท่ากับ 7.18 6.80 6.72 7.22 และ 6.41 log CFU/ml ตามลำดับซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลองมีประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ Lactic acid bacteria (LAB) เท่ากับ 8.55 8.36 7.21 7.65 7.13 และ 7.89 log CFU/ml ตามลำดับซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใช้พลังงานประมาณ 20% ของอาหารที่ไก่กินเข้าไป และถือได้ว่าเป็นอวัยวะที่มีการเผาผลาญอาหารสูง ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยแบคทีเรีย เชื้อรา โปรโตซัว และไวรัส อย่างไรก็ตาม ยังมีแบคทีเรียจำนวนมากในลำไส้ที่ไม่เป็นที่รู้จักและไม่จำแนกประเภท จากการศึกษาพิสูจน์ให้เห็นว่ามีจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ประมาณ 700 สปีชีส์ ทั้งแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ เช่น *Lactobacillus, Bifidobacterium, Enterococcus species* และแบคทีเรียที่ก่อโรค เช่น *Clostridium species* (Gong et al., 2007; Wei et al., 2013) ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก ความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายของพวกมันแตกต่างกันไปตามภูมิภาคต่างๆ ของไก่ เห็นได้ชัดว่าสภาวะที่ทนต่อการย่อยได้ต่ำและบริเวณที่มีการย่อยอาหารอย่างรวดเร็วมักมีจุลินทรีย์น้อยกว่าจุลินทรีย์ในลำไส้ยังส่งใช้การหลั่งของเอนไซม์ มีส่วนช่วยในกระบวนการย่อยอาหารและการดูดซึม ควบคุมการเผาผลาญพลังงาน ป้องกันการติดเชื้อของชั้นเยื่อเมือก และปรับระบบภูมิคุ้มกัน (Jha et al., 2020) ระดับของเยื่อใยในอาหารอาจเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของจุลินทรีย์

เยื่อใยที่ละลายน้ำได้หลายชนิดทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติกส์เมื่ออยู่ในอาหารสัตว์ ส่งใช้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในลำไส้ที่เป็นประโยชน์โดยตรงและการผลิตกรดไขมันสายสั้น (short

chain fatty acid : SCFA) (Jha and Mishra, 2021) ในทำนองเดียวกัน เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำยังทำหน้าที่เป็นสารเจือจางสารอาหารทั่วไป ซึ่งอาจมีทั้งประโยชน์และเป็นอันตราย อาจส่งผลต่อการประชากรของจุลินทรีย์ในลำไส้ที่เป็นประโยชน์ (Jiménez-Moreno et al., 2016)

กรดไขมันระเหยง่าย (short chain fatty acid : SCFA) ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในซีกัมเมื่อมีปริมาณสูงทำให้สภาวะแวดล้อมภายในซีกัมมี pH ต่ำ ส่งผลเสียต่อจุลินทรีย์ก่อโรค ทำให้จำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรคมีจำนวนลดลง (Russell, 2008; van Der Wielen et al., 2000) ในการศึกษาครั้งนี้

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *E. coli* ในซีกัมของไก่เนื้อ กลุ่มที่มีการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมมีประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *E. coli* ที่น้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ ธงชาติ (2556) ที่ได้ทำการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังใช้ด้วยเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารไก่เนื้อที่อายุ 42 พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับร่วมกับการใช้เอนไซม์ไซลาเนส 0.10% ในสูตรอาหารไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรจุลินทรีย์ *E. coli* และ *Lactobacillus* เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) โดยในขณะที่ Xu et al. (2003) พบว่าการใช้ fructooligosaccharide (FOS) ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัม โดย Bifidobacterium และ *Lactobacillus* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และที่จำนวน *Escherichia coli* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบควบคุม Chen et al. (2015) รายงานผลลัพธ์ที่คล้ายกัน โดยพบว่าการผลิตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อเป็นพรีไบโอติกส์จากกากปาล์มด้วยเอนไซม์ในอาหารไก่เนื้อส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัม โดย Bifidobacterium และ Lactobacillus เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และที่จำนวน *Escherichia coli Enterococcus* และ*Enterobacter* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบควบคุม

เมื่อพิจารณนาประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ Lactic acid bacteria (LAB) พบว่ากลุ่ม T2 และ T4 ที่มีการใช้รำละเอียดในอาหารไก่เนื้อ จะมีประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ LAB ที่มากกว่ากลุ่ม T3 และ T5 ที่มีการใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ($P>0.05$) ซึ่ง ลัดดาวัลย์ (2557) รายงานว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่ สามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่ม Lactic acid bacteria (*Lactobacillus* และ *Bifidobacteria*) และเพิ่มการผลิตกรดอะซิติกในซีกัมของไก่ไข่ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเอนไซม์ไซลาเนสมีการย่อยสลายเยื่อใยในกากมันสำปะหลังส่งผลให้จุลินทรีย์มีปริมาณเยื่อใยที่จะใช้หมักย่อยน้อยลง

ตารางที่ 14 ผลของการเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำละเอียดต่อประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

Treatment	*E.coli* (log CFU/ml)	LAB (log CFU/ml)
T1	7.18	8.55
T2	6.80	8.36
T3	6.72	7.21
T4	7.22	7.65
T5	6.41	7.13
SEM	6.29	7.89
P-value	0.06	0.56

LAB: Lactic acid bacteria

SEM: Standard error of the mean

1/ T1 = control (0% of rice bran), T2 = supplemented rice bran at 7.5% in starter diet and 12.5% in grower diet, T3 = supplemented rice bran at 7.5% in starter diet and 12.5% in grower diet (with enzyme), T4 = supplemented rice bran at 10% in starter diet and 15% in grower diet,

T5 = supplemented rice bran at 10% in starter diet and 15% in grower diet (with enzyme)

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ของรำละเอียดต่อการส่งใช้สุขภาวะลำไส้และประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อ รำละเอียดที่ใช้ในการศึกษามีเซลลูโลส 19.66 และเฮมิเซลลูโลส 36.37 เปอร์เซ็นต์ การทดลองที่ 1 ผลของการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม ต่อการย่อยได้ของรำละเอียดและอาหารทดลองในหลอดทดลอง (In vitro digestion) แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 6 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่ 1 รำละเอียด (RB) กลุ่มที่ 2 รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (RB+E) กลุ่มที่ 3 อาหารไก่เล็กที่ใช้รำละเอียด (S) กลุ่มที่ 4 อาหารไก่เล็กที่ใช้รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (S+E) กลุ่มที่ 5 อาหารไก่รุ่นที่ใช้รำละเอียด (G) และกลุ่มที่ 6 อาหารไก่รุ่นที่ใช้รำละเอียด + เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (G+E) พบว่ากลุ่ม RB+E, S+E และ G+E ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการใช้ด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม (P<0.01) เมื่อวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้โดยใช้วิธี Thin layer chromatography (TLC) เปรียบเทียบกับกลูโคสและเซลโลไบโอส (Cellobiose) พบว่าโอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นของทั้ง 6 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดยผลผลิตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์นั้นแสดงให้เห็นว่ามีน้ำตาลกลูโคสและโอลิโกแซคคาไรด์

การทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการผลิต สัณฐานวิทยาลำไส้และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมที่ระดับ 0.02% ในอาหารที่ใช้รำละเอียดในระยะไก่เล็ก 7.5 และ 12.5% ระยะไก่รุ่น 10 และ 15% ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นและลักษณะสัณฐานวิทยาลำไส้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) จากการทดลองการใช้รำละเอียดในอาหารไก่เล็กที่ระดับ 12.5% และระยะไก่รุ่น 15% ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารที่ดีขึ้น สัณฐานวิทยาลำไส้ส่วนต้นของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน การใช้รำละเอียดในอาหารไก่เนื้อส่งผลทำให้ลำไส้เล็กส่วนต้นมีความสูง villi เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม การใช้รำละเอียดต่อประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน พบว่าไม่ส่งผลต่อปริมาณประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *E. coli* และ LAB (Lactic acid bacteria)

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้รำละเอียดร่วมกับการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมจำเป็นต้องพิจารณาเรื่องราคาของต้นทุนอาหารร่วมด้วย เนื่องจากรำละเอียดเป็นวัตถุดิบที่มีพลังงานสูงกว่าข้าวโพด อีกทั้งในขณะที่

ทำงานทดลองครั้งนี้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมยังมีราคาแพง ทำให้ต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น หากมีการนำมาใช้ควรพิจารณาในเรื่องของต้นทุนอาหารว่าคุ้มทุนหรือไม่

2. การวิเคราะห์การย่อยรำละเอียดและอาหารไก่เนื้อที่ใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในหลอดทดลอง (In vitro digestion) ควรวิเคราะห์การย่อยได้ของปริมาณวัตถุแห้งและเยื่อใยหยาบ เพื่อศึกษาเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมจะช่วยย่อยสลายโครงสร้างเยื่อใยในรำละเอียด ส่งผลให้การย่อยได้ของสารอาหารอื่น ๆ เพิ่มขึ้น

3. การวิเคราะห์การย่อยรำละเอียดและอาหารไก่เนื้อที่ใช้รำละเอียดร่วมกับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมในหลอดทดลอง (In vitro digestion) ควรวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของเอนไซม์

4. ควรมีการศึกษาการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมที่สูงขึ้นกว่าที่ทางการค้ากำหนดในการศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ สัณฐานวิทยาลำไส้และประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ

5. ควรมีการศึกษาการใช้รำละเอียดที่ผ่านการทำให้คงสภาพ (stabilization) เพื่อรักษาคุณค่าของสารสำคัญในรำละเอียด

รายการอ้างอิง

A.O.A.C. (1990). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemist.

Akinbobola, A. (2018). *Nutritional Requirements of Broilers*. https://www.livestocking.net/nutritional-requirements-broilers

Awad, W. A., K. Ghareeb, S. Abdel-Raheem and J. Böhm. (2009). Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. *Poultry Science*, *88*(1), 49-56. https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps.2008-00244

Brunner, G. (2014). Chapter 8 - Processing of Biomass with Hydrothermal and Supercritical Water. In G. Brunner (Ed.), *Supercritical Fluid Science and Technology* (Vol. 5, pp. 395-509). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59413-6.00008-X

Bedford, M.R. and G.G. Partridge. (2001). *Enzymes in farm animal nutrition.*

Bedford, M.R. (1996). The Effect of Enzymes on Digestion1. *Journal of Applied Poultry Research*, *5*(4), 370-378. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/japr/5.4.370

Biely, P., D. Kluepfel, R. Morosoli and F. Shareck. (1993). Mode of action of three endo-beta-1,4-xylanases of Streptomyces lividans. *Biochim Biophys Acta*, *1162*(3), 246-254. https://doi.org/10.1016/0167-4838(93)90288-3

Buléon, A., P. Colonna, V. Planchot and S. Ball. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, *23*(2), 85-112. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-8130(98)00040-3

Cabrera, J.C. and P. Van Cutsem. (2005). Preparation of chitooligosaccharides with degree of polymerization higher than 6 by acid or enzymatic degradation of chitosan. *Biochemical Engineering Journal*, *25*, 165-172. https://doi.org/10.1016/j.bej.2005.04.025

Champagne, E., W. Delilah - De, J. Bienvenido and B. Donald. (2004). *The Rice Grain and its Gross Composition. In: Rice Chemistry and Technology.* American Association of Cereal Chemists Press.

Chen, W., J. Liang, F.J. Mohammad, A. Norhani, Yin Ho and T. Vincenzo. (2015). Enzyme

Treatment Enhances Release of Prebiotic Oligosaccharides from Palm Kernel Expeller. *Bioresources*, *10*, 196-209. https://doi.org/10.15376/biores.10.1.196-209

Coughlan M. P., M. A. Tuohy, X. F. Filho, J. Puls, M. Claeyssens, M. Vrsanska and M. M. Hughes. (1993). *Enzymological aspects of microbial hemicellulases with emphasis on fungal systems.* .

Daneshmand A., G. H. Sadeghi, A. Karimi and A. Vaziry. (2011). Effect of oyster mushroom (Pleurotus ostreatus) with and without probiotic on growth performance and some blood parameters of male broilers. *Animal Feed Science and Technology*, *170*(1), 91-96. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.08.008

Deniz, G., F. Orhan, H. Gencoglu, E. Mustafa, S. Cengiz and I. Turkmen. (2007). Effects of different levels of rice bran with and without enzyme on performance and size of the digestive organs of broiler chickens. *Revue de Medecine Veterinaire*, *158*.

Dhawan, S. and J. Kaur. (2007). Microbial mannanases: an overview of production and applications. *Crit Rev Biotechnol*, *27*(4), 197-216. https://doi.org/10.1080/07388550701775919

Drazbo, A., K. Ognik, A. Zaworska, K. Ferenc and J. Jankowski. (2018). The effect of raw and fermented rapeseed cake on the metabolic parameters, immune status, and intestinal morphology of turkeys. *Poult Sci*, *97*(11), 3910-3920. https://doi.org/10.3382/ps/pey250

DuBois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and Fred Smith. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, *28*(3), 350-356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017

Frederick, H., E. Martini and F. Bartholomew. (1997). *Essentials of anatomy and physiology*. Prentice-Hall Inc.

Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *J Appl Bacteriol*, *66*(5), 365-378.

Francesca G., D. Di Gioia, B. Loredana and B. Biavati. (2011). The role of protective and probiotic cultures in food and feed and their impact in food safety. *Trends in Food Science & Technology*, *22*, S58-S66. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.03.003

Gallinger, C. I., D. M. Suárez and A. Irazusta. (2004). Effects of Rice Bran Inclusion on

Performance and Bone Mineralization in Broiler Chicks. *Journal of Applied Poultry Research*, *13*(2), 183-190. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/japr/13.2.183

Ghaffari, M., M. Shivazad, M. Zaghari and R. Taherkhani. (2007). Effects of Different Levels of Metabolizable Energy and Formulation of Diet Based on Digestible and Total Amino Acid Requirements on Performance of Male Broiler. *International Journal of Poultry Science*, *6*, 276-279.

Ghasemi, H., K. Niloofar and T.Kamran. (2014). Effects of black cumin seed (Nigella sativa L.), a probiotic, a prebiotic and a synbiotic on growth performance, immune response and blood characteristics of male broilers. *Livestock Science*, *164*, 128–134. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.014

Ghodrat, A., Y. Akbar, E. Yahya, Habib Aghdam Shahryar and Abolfazl Gorbani. (2015). In vitro Binding Capacity of Wheat and Barley for Mn, Zn, Cu and Fe. *International Journal of Life Sciences*, *9*, 56. https://doi.org/10.3126/ijls.v9i6.12739

Gibson, G. R., H. M. Probert, J. V. Loo, R. A. Rastall and M. B. Roberfroid. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutr Res Rev*, *17*(2), 259-275. https://doi.org/10.1079/nrr200479

Gibson, G. R. and M. B. Roberfroid. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J Nutr*, *125*(6), 1401-1412. https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401

Gong, J., W. Si, R. J. Forster, R. Huang, H. Yu, Y. Yin, C. Yang and Y. Han. (2007). 16S rRNA gene-based analysis of mucosa-associated bacterial community and phylogeny in the chicken gastrointestinal tracts: from crops to ceca. *FEMS Microbiol Ecol*, *59*(1), 147-157. https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00193.x

Gungor, E. and E. Guray. (2020). Effect of dietary raw and fermented sour cherry kernel (Prunus cerasus L.) on digestibility, intestinal morphology and caecal microflora in broiler chickens. *Poultry Science*, *99*(1), 471-478. https://doi.org/10.3382/ps/pez538

Havenaar, R. and J.H.J. Huis in't Veld. (1992). Probiotics: a general view, The Lactic Acid Bacteria. *Springer*, *1*, 151-170.

Hetland, H. and B. Svihus. (2001). Effect of oat hulls on performance, gut capacity and

feed passage time in broiler chickens. *Br Poult Sci*, *42*(3), 354-361. https://doi.org/10.1080/00071660120055331

Hoffmann, P. (2005). Antidesma in Malesia and Thailand. *Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press*.

Holzapfel, W. H., P. Haberer, R. Geisen, J. Björkroth and U. Schillinger. (2001). Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. *Am J Clin Nutr*, *73*(2 Suppl), 365s-373s. https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.365s

Ijaz, U., Habib, U.N., S. Aimen, R. Asima, B. Riffat and A. Farrukh. (2021). Chapter 1 - Rice bran composition and its emerging potential applications. In Inamuddin, R. Boddula, & A. M. Asiri (Eds.), *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science* (pp. 1-16). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821886-0.00001-4

Ismail, H., I. Maryam and A. Zulkifli (2013). Starch-Based Hydrogels: Present Status and Applications. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, *62*, 411-420. https://doi.org/10.1080/00914037.2012.719141

Ivarsson E., B. E. Frankow-Lindberg, H. K. Andersson and J. E. Lindberg. (2011). Growth performance, digestibility and faecal coliform bacteria in weaned piglets fed a cereal-based diet including either chicory (Cichorium intybus L) or ribwort (Plantago lanceolata L) forage. *Animal : an international journal of animal bioscience*, *5*(4), 558-564. https://doi.org/10.1017/s1751731110002193

Marta S. I. and G.B., Costas (1995). Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, *28*(1), 33-48. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0144-8617(95)00077-1

Jayani R.S., S. Shivalika and G. Reena (2005). Microbial pectinolytic enzymes: A review. *Process Biochemistry*, *40*(9), 2931-2944. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.026

Jha, R. and J. D. Berrocoso. (2015). Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal : an international journal of animal bioscience*, *9*(9), 1441-1452. https://doi.org/10.1017/S1751731115000919

Jha. R., R. Das, S. Oak and P. Mishra. (2020). Probiotics (Direct-Fed Microbials) in Poultry

Nutrition and Their Effects on Nutrient Utilization, Growth and Laying Performance, and Gut Health: A Systematic Review. *Animals (Basel)*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/ani10101863

Jha, R., T. A. Woyengo, J. Li, M. R. Bedford, T. Vasanthan and R. T. Zijlstra. (2015). Enzymes enhance degradation of the fiber-starch-protein matrix of distillers dried grains with solubles as revealed by a porcine in vitro fermentation model and microscopy. *J Anim Sci*, *93*(3), 1039-1051. https://doi.org/10.2527/jas.2014-7910

Jha, R. and P. Mishra. (2021). Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *12*(1), 51. https://doi.org/10.1186/s40104-021-00576-0

Jha, R. and R. Zijlstra. (2018). Physico-chemical properties of purified fiber affect their in vitro fermentation characteristics and are linked to in vivo characteristics in pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, *98*, 394-398. https://doi.org/10.1139/CJAS-2017-0140

Jiménez-Moreno, E., A. de Coca-Sinova, J. M. González-Alvarado and G. G. Mateos. (2016). Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake. *Poult Sci*, *95*(1), 41-52. https://doi.org/10.3382/ps/pev309

Juliano, B. (2016). Rice: Overview. In (pp. 125-129).

Juliano, B. and D. B. Bechtel. (1985). The grain and its gross composition. in. *Rice: Chemistry and Technology*, 17-57.

Juturu, V. and C.W. Jin. (2014). Microbial cellulases: Engineering, production and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *33*, 188-203. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.077

Kangabam, R., M. Kangabam, N. Khumukcham and D. Huidrom. (2014). The Potential of Dark Purple Scented Rice-From Staple Food to Nutraceutical. *Current World Environment*, *9*, 867-876. https://doi.org/10.12944/CWE.9.3.38

Kiarie, E., A. Owusu-Asiedu, P. H. Simmins and C. M. Nyachoti. (2010). Influence of phytase and carbohydrase enzymes on apparent ileal nutrient and standardized

ileal amino acid digestibility in growing pigs fed wheat and barley-based diets. *Livestock Science*, *134*(1), 85-87. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.105

Kim, G. B., Y. M. Seo, C. H. Kim and I. K. Paik. (2011). Effect of dietary prebiotic supplementation on the performance, intestinal microflora, and immune response of broilers. *Poult Sci*, *90*(1), 75-82. https://doi.org/10.3382/ps.2010-00732

Kolida, S., Kieran Tuohy and G. R. Gibson. (2002). Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *The British journal of nutrition*, *87 Suppl 2*, S193-197. https://doi.org/10.1079/BJNBJN/2002537

Kullen, M.J., K. Jinmo, F.B. Francis, D.G Daniel and J.B Linda (1998). Carbohydrate source and bifidobacteria influence the growth of Clostridium perfringens in vivo and in vitro. *Nutrition Research*, *18*(11), 1889-1897. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0271-5317(98)00158-4

Laokuldilok T., S. Surawang and J. Klinhom. (2013). Influence of milling time on the nutritional composition and antioxidant content of Thai rice bran. *Food and Applied Bioscience Journal*, *1*(3), 112-130.

Lee, H.J. and C. Ji-Young. (2018). Recent insights into the role of ChREBP in intestinal fructose absorption and metabolism. *BMB reports*, *51*(9), 429-436. https://doi.org/10.5483/BMBRep.2018.51.9.197

Liu, X. and R. K. Chandrakant. (2016). Chapter 11 Microbial Enzymes of Use in Industry.

Liu, Y., Liu S., Jiang G. and D. Qiuzhong. (2021). Optimization of exogenous carbohydrases supplemented in broiler diets using in vitro simulated gastrointestinal digestion and response surface methodology. *PloS one*, *16*(11), e0259865-e0259865. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259865

Lone, K., P. Talat and A. D. Khan. (2003). Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Variously Treated Defatted Rice Polishing for Broiler Feeding. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *16*. https://doi.org/10.5713/ajas.2003.873

Lu, Y. and N. S. Mosier. (2007). Biomimetic catalysis for hemicellulose hydrolysis in corn stover. *Biotechnol Prog*, *23*(1), 116-123. https://doi.org/10.1021/bp060223e

Malladi, R., N. Malladi, R. Mathieu and E. Saïd. (2018). Importance of Agricultural and Industrial Waste in the Field of Nanocellulose and Recent Industrial Developments of Wood Based Nanocellulose: A Review. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *6*. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03437

Marteau, P. R., M. de Vrese, C. J. Cellier and J. Schrezenmeir. (2001). Protection from gastrointestinal diseases with the use of probiotics. *Am J Clin Nutr*, *73*(2 Suppl), 430s-436s. https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.430s

Mateos, G. G., E. Jiménez-Moreno, M. P. Serrano and R. P. Lázaro. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics1 1Papers from the Informal Nutrition Symposium, "Exploring Maximum Animal Responses," were presented at the Poultry Science Association and American Association of Avian Pathologists 2011 Annual Meeting in St. Louis, Missouri, on July 16, 2011. *Journal of Applied Poultry Research*, *21*(1), 156-174. https://doi.org/https://doi.org/10.3382/japr.2011-00477

Mazza, G. (1998). *In Functional Foods:Biochemical & Processing Aspects.* (Vol. 26). Technomic Publishing Company, Inc.

Meng, X., B. A. Slominski, C. M. Nyachoti, L. D. Campbell and W. Guenter. (2005). Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance. *Poult Sci*, *84*(1), 37-47. https://doi.org/10.1093/ps/84.1.37

Michard, J. and Hubbard Nutritionist. (2011). DIETARY FIBRE , ... THE FORGOTTEN NUTRIENT ?

Miller, G. L.. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, *31*(3), 426-428. https://doi.org/10.1021/ac60147a030

Montagne, L., J.R. Pluske and D.J. Hampson. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, *108*, 95-117. https://hal.inrae.fr/hal-02677203

Muthukumarasamy, N. P., B. Jackson, A. Joseph Raj and M. Sevanan. (2015). Production of Extracellular Laccase from Bacillus subtilis MTCC 2414 Using Agroresidues as a Potential Substrate. *Biochem Res Int*, *2015*, 765190.

https://doi.org/10.1155/2015/765190

Nisha, S. and G. Nallathambi. (2017). Effect of biopolishing on structural degradation and physical properties of cellulose. *Journal of the Serbian Chemical Society*, *82*, 31-31. https://doi.org/10.2298/JSC161123031S

North, O.M. (1984). *Commercial Chicken Production Manual Hardcover*. VI Pub. Co; 3rd edition

NRC. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994*. The National Academies Press. https://doi.org/doi:10.17226/2114

Oladunjoye, I. and O. Olusegun. (2010). Performance Characteristics of Broiler Chicken (Gallus gallus) Fed Rice (Oriza sativa) Bran with or Without Roxazyme G2G. *International Journal of Animal and Veterinary Advances*, *2*.

Ordaz-Ortiz, J. J., M. F. Devaux and L. Saulnier. (2005). Classification of wheat varieties based on structural features of arabinoxylans as revealed by endoxylanase treatment of flour and grain. *J Agric Food Chem*, *53*(21), 8349-8356. https://doi.org/10.1021/jf050755v

Phung, C., T. Wilson, J. Quinteros, P. Scott, R. Moore and T. Van. (2021). Enhancement of Campylobacter hepaticus culturing to facilitate downstream applications. *Scientific Reports*, *11*. https://doi.org/10.1038/s41598-021-00277-8

Rajinipriya M., M. Nagalakshmaiah, R. Mathieu and E. Saïd. (2018). Importance of Agricultural and Industrial Waste in the Field of Nanocellulose and Recent Industrial Developments of Wood Based Nanocellulose: A Review. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *6*(3), 2807-2828. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03437

Ramos-Sánchez, L., M. Cujilema, M. Julián Ricardo, J. Cordova and P. Fickers. (2015). Fungal Lipase Production by Solid-State Fermentation. *Bioprocessing & Biotechniques*, *5*, 1-9. https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000203

Rastall, R. A., R. Fuller, H. R. Gaskins and G. R. Gibson. (2000). *Functional Foods: Concept to product* (G. R. Gibson & C. M. Williams, Eds. Vol. 12). Cambridge: Woodhead Publishing Limitted.

Rezaei, M., M. A. Karimi Torshizi and Y. Rouzbehan. (2011). The influence of different levels of micronized insoluble fiber on broiler performance and litter moisture.

Poult Sci, *90*(9), 2008-2012. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01352

Roberfroid, M. B.. (1997). Health benefits of non-digestible oligosaccharides. *Adv Exp Med Biol*, *427*, 211-219. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5967-2_22

Rohrer, C. A. and T. J. Siebenmorgen. (2004). Nutraceutical Concentrations within the Bran of Various Rice Kernel Thickness Fractions. *Biosystems Engineering*, *88*(4), 453-460. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.04.009

Russell, J. B. (2008). Another explanation for the toxicity of fermentation acids at low pH: Anion accumulation versus uncoupling. *Journal of Applied Microbiology*, *73*, 363-370. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1992.tb04990.x

Saadatmand, N., M. Toghyani and A. Gheisari. (2019). Effects of dietary fiber and threonine on performance, intestinal morphology and immune responses in broiler chickens. *Animal Nutrition*, *5*(3), 248-255. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.06.001

Saenphoom, P., J. Liang, Y. W. Ho, T. Loh and M. Rosfarizan. (2011). Effect of enzyme treatment on chemical composition and production of reducing sugars in palm (Elaeis guineenis) kernel expeller. *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, *10*. https://doi.org/10.5897/AJB11.1211

Saha, S. K. and C. F. Brewer. (1994). Determination of the concentrations of oligosaccharides, complex type carbohydrates, and glycoproteins using the phenol-sulfuric acid method. *Carbohydr Res*, *254*, 157-167. https://doi.org/10.1016/0008-6215(94)84249-3

Sanchez, J., A. Thanabalan, T. Khanal, R. Patterson, B.A. Slominski and K. Elijah. (2019). Growth performance, gastrointestinal weight, microbial metabolites and apparent retention of components in broiler chickens fed up to 11% rice bran in a corn-soybean meal diet without or with a multi-enzyme supplement. *Animal Nutrition*, *5*(1), 41-48. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.12.001

Sarikhan, M., H.A. Shahryar, B. Gholizadeh, M.H. Hosseinzadeh, B. Beheshti and A. Mahmoodnejad. (2010). Effects of Insoluble Fiber on Growth Performance, Carcass Traits and Ileum Morphological Parameters on Broiler Chick Males. *Int. J. Agric. Biol*, *12*, 1560-8530.

Scheller, H. V. and P. Ulvskov. (2010). Hemicelluloses. *Annu Rev Plant Biol*, *61*, 263-289. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315

Schrezenmeir, J. and M. de Vrese. (2001). Probiotics, prebiotics, and synbiotics--approaching a definition. *Am J Clin Nutr*, *73*(2 Suppl), 361s-364s. https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.361s

Shakouri, M. D., P. A. Iji, L. L. Mikkelsen and A. J. Cowieson. (2009). Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, *93*(5), 647-658. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00852.x

Shang, Q. H., X. K. Ma, M. Li, L. H. Zhang, J. X. Hu and X. S. Piao. (2018). Effects of α-galactosidase supplementation on nutrient digestibility, growth performance, intestinal morphology and digestive enzyme activities in weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, *236*, 48-56. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.008

Shang, Q., D. Wu, H. Liu, S. Mahfuz and X. Piao. (2020). The Impact of Wheat Bran on the Morphology and Physiology of the Gastrointestinal Tract in Broiler Chickens. *Animals*, *10*, 1831. https://doi.org/10.3390/ani10101831

Sharifi, S. D., A. Dibamehr, H. Lotfollahian and B. Baurhoo. (2012). Effects of flavomycin and probiotic supplementation to diets containing different sources of fat on growth performance, intestinal morphology, apparent metabolizable energy, and fat digestibility in broiler chickens. *Poult Sci*, *91*(4), 918-927. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01844

Shibuya, N. and T. Iwasaki. (1985). Structural features of rice bran hemicellulose. *Phytochemistry*, *24*, 285-289.

Shirzadegan, K. and H. R. Taheri. (2017). Insoluble Fibers Affected the Performance, Carcass Characteristics and Serum Lipid of Broiler Chickens Fed Wheat-Based Diet. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, *7*(1), 109-117. http://ijas.iaurasht.ac.ir/article_528894.html

Singh, P. (2021). Nutritional composition and dietary fiber analysis of rice bran of selected varieties of rice.

Singthong, J. (2016). Functional Properties and Utilization of Rice Bran Dietary Fiber in Bread. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, *18*(2), 63-73.

Slominski, B.A., L.D. Campbell and W. Guenter. (1994). Carbohydrates and Dietary Fiber Components of Yellow- and Brown-Seeded Canola. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *42*(3), 704-707. https://doi.org/10.1021/jf00039a020

Sowcharoensuk, C. (2019). แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม *2562-2564:* อุตสาหกรรมข้าว. https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Agriculture/Rice/IO/io-rice-20

Sunphorka, S., W. Chavasiri, Y. Oshima and S. Ngamprasertsith (2012). Protein and Sugar Extraction from Rice Bran and De-Oiled Rice Bran using Subcritical Water in a Semi-Continuous Reactor: Optimization by Response Surface Methodology. *International Journal of FoodEngineering*, *8*(3), 26.

Theerakulkait, C., C. Siree and S. Mongkolkanchanasiri. (2006). Extraction and Some Functional Properties of Protein Extract from Rice Bran. *Kasetsart Journal: Natural Science*, *40*.

Tsirtsikos, P., K. Fegeros, C. Balaskas, A. Kominakis and K. C. Mountzouris. (2012). Dietary probiotic inclusion level modulates intestinal mucin composition and mucosal morphology in broilers. *Poult Sci*, *91*(8), 1860-1868. https://doi.org/10.3382/ps.2011-02005

Wielen, P. W. van Der, S. Biesterveld, S. Notermans, H. Hofstra, B. A. Urlings and F. van Knapen. (2000). Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl Environ Microbiol*, *66*(6), 2536-2540. https://doi.org/10.1128/aem.66.6.2536-2540.2000

Wang, G. J., R. R. Marquardt, W. Guenter, Z. Zhang and Z. Han. (1997). Effects of enzyme supplementation and irradiation of rice bran on the performance of growing Leghorn and broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, *66*(1), 47-61. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01128-5

Wei, S., M. Morrison and Z. Yu. (2013). Bacterial census of poultry intestinal microbiome. *Poult Sci*, *92*(3), 671-683. https://doi.org/10.3382/ps.2012-02822

Weiss, F. G. and M. L. Scott. (1979). Effects of Dietary Fiber, Fat and Total Energy Upon

Plasma Cholesterol and Other Parameters in Chickens. *The Journal of Nutrition*, *109*(4), 693-701. https://doi.org/10.1093/jn/109.4.693

Williams, B. A., L. J. Grant, M. J. Gidley and D. Mikkelsen. (2017). Gut Fermentation of Dietary Fibres: Physico-Chemistry of Plant Cell Walls and Implications for Health. *Int J Mol Sci*, *18*(10). https://doi.org/10.3390/ijms18102203

Wyman, C., S. Decker, M. E. Himmel, J. W. Brady, C. E. Skopec and L.Viikari. (2005). Hydrolysis of cellulose and hemicellulose. *1*, 1023-1062.

Xu, Y., C. R. Stark, P. R. Ferket, C. M. Williams, W. J. Pacheco and J. Brake. (2015). Effect of dietary coarsely ground corn on broiler live performance, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and digesta particle size distribution and retention time. *Poultry Science*, *94*(1), 53-60. https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps/peu015

Xu, Z. R., C. H. Hu, M. S. Xia, X. A. Zhan and M. Q. Wang. (2003). Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poult Sci*, *82*(6), 1030-1036. https://doi.org/10.1093/ps/82.6.1030

Yapura, S. (2021). *Importance of corn in animal production.*

Of the raw materials involved in animal feed, corn grain is the main component, constituting between 50 and 70% of the diets of monogastric animals (mainly poultry and pigs). Retrieved 26/10 from https://www.veterinariadigital.com/en/articulos/importance-of-corn-in-animal-production/

Yasmin, A., M.S. Butt, M. Afzaal, M.V. Baak, M.T. Nadeem and M.Z. Shahid. (2015). Prebiotics, gut microbiota and metabolic risks: Unveiling the relationship. *Journal of Functional Foods*, *17*, 189-201. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.05.004

Zare-Sheibani, A.A, M. Arab, M.J. Zamiri, M.R. Rezvani, M. Dadpasand and F. Ahmadi. (2015). Effects of extrusion of rice bran on performance and phosphorous bioavailability in broiler chickens. *Journal of Animal Science and Technology*, *57*(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40781-015-0059-z

Zhang, W., D. Li, L. Liu, J. Zang, Q. Duan, W. Yang and L. Zhang. (2013). The effects of

dietary fiber level on nutrient digestibility in growing pigs. *J Anim Sci Biotechnol*, *4*(1), 17. https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-17

Zhang, Y. C., M. Luo, X. Y. Fang, F. Q. Zhang and M. H. Cao. (2021). Energy value of rice, broken rice, and rice bran for broiler chickens by the regression method. *Poultry Science*, *100*(4), 100972. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.069

พรพรรณ แสนภูมิ และ สุภาวดี ฉิมทอง. (2557). การปรับปรุงกากชาด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์. แก่นเกษตร, *42*(1), 368-374.

พรพรรณ แสนภูมิ, สุภาวดี ฉิมทอง, ณฐกร กลั่นบุศย์, ประเสริฐพงษ์ มงคล และ ศักดิธัช อารีรอบ. (2558). การปรับปรุงเยื่อหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์สำหรับอาหารสัตว์. แก่นเกษตร, *43*(1(ฉบับพิเศษ)), 505-511.

พรพรรณ แสนภูมิ, สุภาวดี ฉิมทอง, ภัทราพร ภุมรินทร์, วสุนันท์ นิ่มอนงค์, ปฏิญญา สมทรัพย์ และ ปูริดา เขียวเกษม. (2563). การปรับปรุงกากกะทิและเปลือกตาลโดยใช้เอนไซม์เพื่อเป็นพรีไบโอติกส์สำหรับอาหาร. แก่นเกษตร, *48*(1), 621-628.

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. (2534). ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

วิทธวัช โมฬี, สุทิศา เข็มผะกา และ เฉลิมชัย หอมตา. (2555). ผลของการเลี้ยงไก่พื้นเมืองแบบกึ่งปล่อยต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตปริมาณคอเลสเตอรอล และองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อ

กลุ่มส่งใช้พัฒนาธุรกิจด้านพืชและผลิตภัณฑ์. (2549). การศึกษาความสูญเสียในกระบวนการผลิตและกระบวนการแปรรูปข้าวของสถาบันเกษตรกร. กรุงเทพฯ: กรมส่งใช้สหกรณ์

สุดาทิพย์ จันทร และ ชนิตโชต ปยพิทยานันต. (2555). การผลิตและการประยุกต์แมนนาเนสจากจุลินทรีย์. วารสาร วิทยาศาสตรและเทคโนโลยี, *20* (4).

วิราสิณี จันทร์เป็ง และ นพพล เล็กสวัสดิ์. (2556). อะไมเลส (*Amylase)*.

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. (2546). ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์.

ศรีน้อย ชุ่มคา และ อรพินท์ จินตสถาพร. (2560). การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยร่วมกับเอนไซม์ไฟเตสในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ *12*(2), 11-17.

รุสมัน ดะแซสาเมาะ. (2557). การสกัดและการทำบริสุทธิ์โอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อมังกรแก้วและการประเมินคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์].

ประภากร ธาราฉาย. (2560). การผลิตสัตว์ปีก. In การเลี้ยงไก่กระทง.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Vol. พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พีรพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์. (2550). การประเมินคุณค่าทางโภชนะวัตถุดิบอาหารหยาบและแหล่งเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารสัตว์ ในหลอดทดลองการผลิตแก๊ส. วารสารแก่นเกษตร, *35*(3), 397-409.

อติโรจน์ ปพัฒน์เปรมสิริ. (2560). ระบบย่อยอาหาร (*digestive system)*. https://www.scimath.org/lesson-biology/item/7036-digestive-system-7036

วีระ ปิยธีรวงศ์. (2555). การประยุกต์ใช้เอนไซม์ไลเปสสำหรับการเตรียมกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, *17*(1), 192-197.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2546). *amylase / อะไมเลส*. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1174/amylase%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%AA

สุรญาณ์ มณีพันธ์. (2557). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุนัขใช้โพรไบโอติกและพรีไบโอติกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์].

ประกานต์ ฤดีกุลธำรง และ จารุณี ควรพิบูลย์. (2555). พรีไบโอติก: อาหารส่งใช้สุขภาพ. ธรรมศาสตร์เวชสาร *2*, 362-369.

บัวรอง ลิ่วเฉลิมวงศ์. (2557). สรีรวิทยา. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธัญญรัตน์ ศรีนรสิงห์, ไกลกว่า วุฒิเสน, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2561). การสกัดไซโลโอลิโกแซคคาไรด์จากรำข้าวไรซ์เบอรี่ด้วยน้ำร่วมกับคลื่นอัลตร้าโซนิค. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, *49*(2), 29-32.

ภูมิพัฒน์ ศรีวัชรเมธา, สุภาวดี ฉิมทอง, พรพรรณ แสนภูมิ และ จันทร์จิรา สิทธิยะ. (2564). การผลิตโอลิดกแซคคาไรด์จากกากมะพร้าวเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. แก่นเกษตร, *49*(1), 621-628.

สถาบันวัคซีนแห่งชาติ. (2564). *10* เรื่องที่ต้องรู้สำหรับผู้ให้บริการงานสร้างใช้ภูมิคุ้มกันโรค. http://guruvaccine.com/%e0%b8%9b%e0%b8%a3%e0%b8%b0%e0%b9%80%e0%b8%a0%e0%b8%97%e0%b8%a7%e0%b8%b1%e0%b8%84%e0%b8%8b%e0%b8%b5%e0%b8%99%e0%b8%95%e0%b8%b2%e0%b8%a1%e0%b8%81%e0%b8%b2%e0%b8%a3%e0%b8%9c%e0%b8%a5%e0%b8%b4%e0%b8%95/

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพังงา. (2558). ข้อมูลเพื่อการวางแผนพัฒนาไก่เนื้อ จังหวัดพังงา. พังงา

เอกภพ สินนาม. (2555). การศึกษาคุณสมบัติความเป็น พรีไบโอติกส์ของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรดี ที่ได้จากแก่นตะวัน มหาวิทยาลัยศิลปากร].

บุญญาทิพย์ สุขบุญ และ ศศิธร ศรีประดิษฐ์. (2556). การปรับปรุงกากมะพร้าวโดยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพ

รีไบโอติกส์ส์ในอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยศิลปากร]. เพชรบุรี.

ธงชาติ สุริยวงค์. (2556). ผลของกากมันสำปะหลังใช้ด้วยเอนไซม์ไซลาเนสต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่เนื้อ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี].

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และ เบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. (2538). เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. ว. คุณภาพเพื่อชีวิต, *2*, 63-67.

ลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง. (2557). ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ สมรรถนะการผลิตคุณภาพไข่ คลอเรสเตอรอลในไข่แดง และการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในไก่ไข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี]. นครราชสีมา.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. (2536). คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. กรุงเทพฯ: ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์. (2552). แนวทางการใช้ *Prebiotic* และ *Probiotic* ใช้ในอาหารเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ เพื่อเข้าสู่ระบบฟาร์มสัตว์น้ำตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้].

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

วิธีการ Proximate analysis **(**AOAC, 1990**)**

การวิเคราะห์หาน้ำหนักแห้ง

1. เตรียมจานอลูมิเนียมที่ล้างทำความสะอาดแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำออกมาจากเตาเผาอบใส่ในโถอบแห้งทิ้งให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2.xxxx-3.xxxx กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง พร้อมกับบันทึกค่าน้ำหนักและใส่ตัวอย่างลงในจานอลูมิเนียม

3. นำจานอลูมิเนียมไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 1 คืน

4. นำจานอลูมิเนียมออกจากเตาอบ แล้วทิ้งให้เย็นในโถอบแห้งนาน 30 นาที

5. เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง พร้อมบันทึกค่าน้ำหนัก

$$\%\text{น้ำหนักแห้ง} = 100 - \frac{(A-B) \times 100}{W}$$

A = น้ำหนักจานอลูมิเนียม + ตัวอย่างก่อนอบ

B = น้ำหนักจานอลูมิเนียม + ตัวอย่างหลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาโปรตีน

การย่อย

1. ชั่งตัวอย่างอาหารบนกระดาษชั่งสารประมาณ 0.1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วพับกระดาษที่มีตัวอย่างใส่ลงใน Kjeldahl flask

2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture) ประมาณ 2 กรัม หรือ 1 ช้อน และเติมเม็ดแก้ว 2-3 เม็ด เพื่อช่วยให้การเดือดเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 15 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Kjeldahl flask อย่างช้าๆ

4. เตรียม Blank โดยทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1-3 แต่ไม่ใช่ตัวอย่างอาหาร

5. นำ Kjeldahl flask ใส่ลงใน Digestion rack จนครบ 20 ช่อง กรณีใส่ตัวอย่างไม่ครบ 20 ช่องให้เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นและเม็ดแก้ว 2-3 ลงใน Kjeldahl flask ให้ครบทุกช่อง

6. วาง Digestion rack ลงในเครื่องย่อยด้วยความระมัดระวัง แล้วครอบฝาปิดที่ต่ออยู่กับเครื่องดูดไอกรดจากนั้นเปิดเครื่องพร้อมกับเปิดระบบน้ำที่ตัวปั๊มของเครื่องดูดไอกรด

7. ตั้งค่าอุณหภูมิความร้อนของเครื่องย่อยที่ 420 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเครื่องย่อยถึงตามที่กำหนดให้เริ่มจับเวลา 2-3 ชั่วโมง หรือจนกว่าสีของสารละลายใน Kjeldahl flask เป็นสีเขียวใส จึงปิดเครื่องย่อยและยก Digestion rack แขวนไว้บนแท่น โดยที่ไม่ปิดเครื่องดูดไอกรด รอจนไอกรดที่เป็นควันสีขาวใน Kjeldahl flask หมด จึงเปิดเครื่องดูดไอกรด และรอให้เย็นตัวลง

การกลั่น

1. เปิดเครื่องกลั่นไนโตรเจนและ cooling bath นำ Kjeldahl flask เปล่าต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม clean เพื่อทำความสะอาดเครื่องก่อนเริ่มต้นการใช้งานและหลังการใช้งานเสร็จทุกครั้ง

2. ตั้งค่าโปรแกรมการเติมสารละลายและเวลาในการกลั่นดังต่อไปนี้

1 สารละลาย 35% NaOH 70 มิลลิลิตร

2 น้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร

3 Steam power 70%

4 ระยะเวลาดูดสารละลายทิ้ง 15-20 วินาที

3. นำ Erlenmeyer flask เติมสารละลาย 4% Boric acid ที่เติม Screened methyl red indicator แล้ว ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำ Kjeldahl flask ต่อเข้ากับเครื่องกลั่นด้านที่มีสายยางเติมสารละลาย ส่วน Erlenmeyer flask เติมสารละลาย 4% Boric acid ต่อเข้ากับด้านที่มีสายยางที่ต่อจาก Condenser และเริ่มต้นการกลั่นไนโตรเจน โดยเริ่มจาก Blank แล้วตามด้วยตัวอย่างจนครบ

<u>การไตเตรท</u>

1. เตรียมอุปกรณ์ชุด Titration และทำการหาความเข้มข้นของสารละลายกรด HCl (0.1xxx N)

2. นำ Erlenmeyer flask ซึ่งมีกรดมากเกินพอ (Excess acid) มา Titrate กับสารละลาย Standard HCl จนกระทั่งสีของ Indicator เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูอมม่วง คือ End point บันทึกปริมาณสารละลายกรด HCl

$$\%\text{Nitrogen} = \frac{(S-B) \times 0.014 \times N \times 100}{W}$$

1 มิลลิลิตร ของ 1 N HCl = 0.014 กรัม Nitrogen

S = ปริมาณของ HCl ที่ใช้ Titrate ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณของ HCl ที่ใช้ Titrate blank (มิลลิลิตร)

N = Normality ของ Standard HCl

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

$$\%\text{Crude Protein} = \%\text{Nitrogen} \times 6.25$$

การวิเคราะห์หาค่าพลังงาน

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2. ประกอบคอลัมน์อัดเม็ดและเทตัวอย่างลงไป จากนั้นวางคอลัมน์ลงบนแท่งอัดตัวอย่าง ขันให้แน่นแล้วนำตัวอย่างออกมาชั่งอีกครั้งด้วยเครื่องชั่งเดิม บันทึกน้ำหนัก

3. เปิดฝา Vessel และนำ Lid Assembly วางบนขาตั้งเตรียมตัวอย่างแล้วทำการผูกด้ายกับลวดจุดระเบิดให้แน่น

4. วางถ้วยบรรจุตัวอย่างลงใน Lid Assembly แล้วจึงวางเส้นด้าย ลงไปในถ้วยบรรจุอาหาร ใช้ forcep คีบอาหารเม็ดวางบนเส้นด้าย

5. บรรจุ Lid Assembly ลงใน Vessel และปิดฝาให้สนิท

6. อัดแก๊สเข้าไปใน Vessel แล้วนำเข้าเครื่อง Bomb Calorimeter PARR

7. ทำการกำหนดหมายเลข Vessel และกำหนด น้ำหนักตัวอย่าง

8. กด Enter เพื่อให้เครื่อง Bomb Calorimeter PARR ทำการหาค่าพลังงานของตัวอย่างออกมา

การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย

1. นำ Fiber cap filtration ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 12-24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำเข้าไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักและจดน้ำหนักแห้งของ Fiber cap filtration เพื่อนำค่าที่ได้ไว้คำนวณภายหลัง

2. ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 0.5xxx กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำการบรรจุตัวอย่างอาหารที่ได้ลงใน Fiber cap filtration โดยการเปิดฝาออกแล้วเทตัวอย่างอาหารใส่ลงไปพร้อมปิดฝาให้สนิท แล้วจดบันทึกค่าน้ำหนักของตัวอย่างรวมกับ Fiber cap filtration ที่ได้เพื่อนำค่าที่ได้ไว้คำนวณต่อไปภายหลัง จากนั้นทำการติดฉลากตัวอย่างด้วยดินสอ 2B

3. ประกอบ Fiber cap filtration ที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่เข้ากับชุดเครื่องบ่มวิเคราะห์เยื่อใย ซึ่งบรรจุได้ครั้งละ 18 อัน (ให้เรียงตามลำดับเพื่อให้ง่ายต่อการนำออก)

4. นำชุดแกนพร้อมด้วย Fiber cap filtration 18 unit ที่ปิดด้วยฝาล็อก บรรจุลงในบีกเกอร์สำหรับบ่มย่อย เติมกรดซัลฟูริก 1.25% ปริมาตร 1500 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ แล้วปิดฝาด้วยฝาแท่นของเครื่องที่ต่อกับระบบน้ำสำหรับการหล่อเย็น พร้อมเปิดระบบน้ำที่ต่อไว้ให้ไหลเวียนฝาแท่นตลอดเวลา

5. ทำการเปิดเครื่อง Hot plate 2022 ให้มีความร้อนสูงสุด จนสารละลายตัวอย่างเริ่มเดือด จากนั้นให้ลดระดับความร้อนลง เพื่อให้สารละลายร้อนและเดือดพอประมาณ พร้อมกับเริ่มทำการจับเวลาการต้มสารละลายตัวอย่างต่อไปอีกเป็นเวลานาน 30 นาที

6. หลังจากครบกำหนดเวลาการต้มสารละลายตัวอย่างแล้ว ให้ยกแท่นฝาออก แล้วยกแกนชุด Fiber cap filtration 18 unit ออกมา แช่ในบีกเกอร์พลาสติก แล้วใช้น้ำร้อนที่ต้มไว้เทชะล้างคราบกรดให้ออกโดยการเขย่าเคาะแกนไปมาเพื่อทำการล้าง จากนั้นถ่ายกรดซัลฟูริก 1.25% ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 5 ลิตร รอการสะเทินก่อนทิ้งลงอ่างล้างภาชนะ

7. นำชุดแกน Fiber cap filtration ยกมาใส่บรรจุในบีกเกอร์บ่มย่อยอีกครั้ง เติมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แล้วปรับความร้อนสูงสุด เมื่อสารละลายเดือดให้ปรับความร้อนมาที่ระดับกลางๆ แล้วต้มต่อนาน 30 นาที เมื่อครบเวลาจึงนำออกมาล้างด้วยน้ำร้อน 2-3 ครั้ง

8. เมื่อล้างสารละลายด่างออกหมดแล้ว ให้นำชุดแกนพร้อมด้วย Fiber cap filtration ยกมาใส่อ่างที่มีฝาปิดที่บรรจุ 95% Ethanol โดยการแช่ 15-20 วินาที แล้วยกออก ถ่ายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ลงในบีกเกอร์ที่มีกรดซัลฟูริก 1.25% เป็นการสะเทินของเสียก่อนทิ้งลงสู่อ่างล้างภาชนะ

9. จากนั้นจึงถอดแยกเพื่อนำเอา Fiber cap filtration แต่ละอันออกมาใส่ภาชนะรอง (ฟรอยด์อลูมิเนียม) แล้วจึงนำ Fiber cap filtration ที่มีตัวอย่างเหลือจากการบ่มย่อยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 12-24 ชั่วโมง (หรืออบทิ้งไว้ข้ามคืน) จากนั้นนำออกจากตู้อบมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลานาน 30 นาที แล้วจึงชั่ง

น้ำหนักเพื่อจดบันทึกน้ำหนักแห้งของ Fiber cap filtration พร้อมกากตัวอย่างที่เหลือ เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณคำนวณหาปริมาณเยื่อใยต่อไป

$$\%\text{เยื่อใย} = \frac{A-B \times 100}{C}$$

A = น้ำหนัก Fibercap + ตัวอย่างอาหารหลังอบ

B = น้ำหนัก Fibercap

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF)

1. สารละลาย neutral detergent (NDF Solution)

1.1 ส่วนประกอบ

- Sodium lauryl sulfate (USP)

- Disodium ethylene diamine tetra acetate (EDTA) (dihydrate crystal, reagent grade)

- Sodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4, anhydrous, reagent grade)

- Sodium tetraborate (borax) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)

- 2-Ethoxyethanol (purified grade)

- น้ำกลั่นร้อน

วิธีเตรียม

- ชั่ง EDTA 18.61 กรัม และ Sodium tetraborate (borax) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) 6.81 กรัม ใส่ในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นร้อนลงไปพอประมาณ คนให้ทั่วจนละลายหมด

- นำมาผสมกับ USP 30 กรัมกับ 2-Ethoxyethanol 10 มิลลิลิตรชั่ง

- ชั่ง Sodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) 4.56 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นที่ร้อนลงไปพอประมาณแล้วให้ทั่วกันจนละลายหมด แล้วนำไปผสมกับสารละลายดังกล่าวข้างต้น คนให้เข้ากัน

- ปรับให้ได้สารละลาย 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. Sodium sulfide (Na_2SO_3)

3. 95 Ethanol

4. Antifoam or Octanol

วิธีทำ

1. นำ FiberCap Filtration ไปอบไล่ความชื้น (105 ° C นาน 12-24 ชั่วโมง) แล้วนำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำเข้าไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccators) เป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักเพื่อจดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งของ FiberCap Filtration เพื่อนำค่าที่ได้ไว้คำนวณต่อไปภายหลัง

2. ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 0.5xxx กรัมด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งทำการบรรจุตัวอย่างอาหารที่ได้ใส่ลงใน FiberCap Filtration โดยการเปิดฝาออกแล้วเทตัวอย่างใส่ลงไปพร้อมปิดฝาให้สนิท แล้วจดบันทึกค่าน้ำหนักของตัวอย่างรวมกับ Fiber Cap Filtration ที่ได้ที่ได้เพื่อนำค่าที่ได้ไว้คำนวณต่อไปภายหลัง จากนั้นทำการติดฉลากตัวอย่างด้วยดินสอ 2B

3. ประกอบ FiberCap Filtration ที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่เข้ากับชุดเครื่องบ่มย่อยวิเคราะห์เยื่อใย (FOSS รุ่น FC 223 FiberCap แบบ 18 unit) ซึ่งจะบรรจุได้ครั้งละ 18 อัน (ให้เรียงตามลำดับเพื่อง่ายในการนำออก)

4. นำชุดแกนพร้อมด้วย FiberCap Filtration 18 unit ที่ปิดด้วยฝาล็อก บรรจุลงในบีกเกอร์สำหรับบทย่อย เติมสารละลาย neutral detergent (NDF Solution) ปริมาตร 1500 ml. ลงไปในบีกเกอร์และ Sodium sulfide (Na_2SO_3) 0.5 กรัม แล้วปิดฝาด้วยฝาแท่นของเครื่องที่ต่อกับระบบน้ำสำหรับการหล่อเย็น พร้อมเปิดระบบน้ำที่ต่อไว้ให้ไหลเวียนฝาแท่นตลอดเวลา ทำการเปิดเครื่อง Hotplate 2022 ให้ความร้อนสูงสุด (High level เลข 9) จนสารละลายตัวอย่างเริ่มเดือด จากนั้นให้

ลดระดับความร้อนลง (Medium level เลข 5) เพื่อให้สารละลายร้อนและเดือดพอประมาณ พร้อมกับเริ่มทำการจับเวลาการต้มสารละลายตัวอย่างต่อไปอีกเป็นเวลานาน 60 นาที

5. หลังจากครบกำหนดเวลาการต้มสารละลายตัวอย่างแล้วให้ยกฝาแท่นบนออกแล้วยกแกนชุด FiberCap Filtration 18 unit ออกมาแช่ในปีเกอร์พลาสติก แล้วใช้น้ำร้อนที่ต้มไว้เทชะล้างคราบสารสารละลาย neutral detergent (NDF Solution) ให้ออกโดยการเขย่าเคาะแกนไปมาเพื่อทำการล้าง 2-3 ครั้งแล้วทิ้งสารดังกล่าวลงอ่างล้างพาชนะ

6. จากนั้นจึงถอดแยกเพื่อนำเอา FiberCap Filtration แต่ละอันออกมาใส่ภาชนะรอง (ฟอยด์อะลูมิเนียม) แล้วจึงนำ FiberCap Filtration ที่มีตัวอย่างเหลือจากการบ่มย่อย นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ° C นาน 12-24 ชั่วโมง (หรืออบทิ้งไว้ข้ามคืน) จากนั้นนำออกจากตู้อบมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำเข้าไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักเพื่อจดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งของ FiberCap Filtration พร้อมกากตัวอย่างที่เหลือ

$$\%NDF = \frac{A-B}{C} \times 100$$

A = น้ำหนัก Fibercap + ตัวอย่างอาหารหลังอบ

B = น้ำหนัก Fibercap

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, (ADF)

สารเคมี

1. สารละลาย acid detergent (ADF Solution)

1.1 ส่วนประกอบ

- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 Conc.)
- Cetyl trimethyl ammoniumbromide (CTAB)
- น้ำกลั่น

1.2. วิธีเตรียม

- ชั่งกรดซัลฟูริกเข้มข้น 96-97% จำนวน 26.72 ml ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 1 ลิตรที่มีน้ำกลั่นอยู่พอประมาณ ผสมให้เข้ากัน ทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายให้ได้ความเข้มข้นของกรดเท่ากับ 1 M เติม Cetyl trimethyl ammonium bromide 20 กรัม เขย่าให้เข้ากัน

2. 95% Ethanol

วิธีทำ

1. ทำเหมือนวิธีการวิเคราะห์เยื่อใยวิเคราะห์หาเยื่อใย NDF โดยวิธีการจะแตกต่างกันตรงที่การใช้สารละลายการวิเคราะห์หาเยื่อใย ADF ใช้สารละลาย ADF Solution โดยทำการบ่มย่อยนาน 1 ชั่วโมง

2. จากนั้นจึงถอดแยกเพื่อนำเอา FiberCap Filtration แต่ละอันออกมาใส่ภาชนะรอง (ฟอยด์อะลูมิเนียม) แล้วจึงนำ FiberCap Filtration ที่มีตัวอย่างเหลือจากการบ่มย่อย นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ° C นาน 12-24 ชั่วโมง (หรืออบทิ้งไว้ข้ามคืน) จากนั้นนำออกจากตู้อบมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำเข้าไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักเพื่อจดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งของ FiberCap Filtration พร้อมกากตัวอย่างที่เหลือ

$$\%ADF = \frac{A-B}{C} \times 100$$

A = น้ำหนัก Fibercap + ตัวอย่างอาหารหลังอบ

B = น้ำหนัก Fibercap

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

$$\%Hemicellulose = NDF-ADF$$

การวิเคราะห์หา Acid detergent lignin, ADL

สารเคมี

สายสะลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4 72%)

วิธีการ

1. นำกากตัวอย่างที่เหลือใน FiberCap Filtration ที่ที่วิเคราะห์หา ADF เรียบร้อยแล้ว ใส่ถ้วยกรอง (Glass Filter Crucible) แล้ววางในเกอร์หรือถาดเคลือบ (ห้ามใช้ถาดอะลูมิเนียมเด็ดขาด เพราะสารละลายกรดที่ใช้จะกัดกร่อน) แล้วให้ตัวอย่างพร้อมถ้วยกรองที่อยู่ในบีกเกอร์ มาทำการวิเคราะห์หา Acid detergent lignin, ADL ภายใต้ตู้ดูดควันเพื่อป้องกันอันตรายจากกรดเข้มข้น

2. ทำการเพิ่มกรดซัลริกเข้มข้น 72% ลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของ Glass Filter Crucible หรือให้ท่วมตัวอย่าง ใช้แท่งแก้วคน (ใช้แยกกันแต่ละถ้วยกรองแต่ละตัวอย่างห้ามใช้ร่วมกัน) ให้ทั่วเพื่อให้กากเยื่อใยแยกจากกัน และละลายในสารละลายกรดเข้มข้นได้ทั่วถึง แล้วปล่อยให้ตัวอย่างแช่อยู่ในสารละลายกรดต่อไป ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง

3. เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมงให้เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72% ลงไปเพิ่มอีกในปริมาณที่ท่วมตัวอย่างในถ้วยกรอง แล้วใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างละลายเข้ากันดีแล้วปล่อยให้ตัวอย่างแช่อยู่ในสารละลายกรดต่อไป ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงทำซ้ำอีก 1 รอบ

4. หลังจากเติมกรดครบ 3 ครั้งแล้ว (3 ชั่วโมง) นำถ้วยกรอง (Glass Filter Crucible) ที่มีตัวอย่างที่เหลือจากการย่อยด้วยกรดเข้มข้น แล้วนำไปต่อประกอบเข้ากับชุดเครื่องดูดสุญญากาศ (Aspirator pump) เพื่อทำการล้างกรองทำความสะอาดคราบกรดออกให้หมด

5. ทำการล้างเศษตะกอนและล้างสารละลายกรดออกด้วยน้ำกลั่นร้อน 3-4 ครั้งจนกระทั่งสารละลายกรดที่ไหลออกจากถ้วยกรองไม่มีสีแล้ว จึงล้างด้วย 95% Ethanol 10-20 ml. อีก 2 ครั้ง เพื่อไล่ความชื้นออกจากตัวอย่าง)

6. นำถ้วยกรองที่มีเศษกากตัวอย่างที่เหลืออยู่ไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 ° C นาน 12-24 ชั่วโมง (หรืออบทิ้งไว้ข้ามคืน) จากนั้นนำออกจากเตาอบ มาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำเข้าไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง จดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งของถ้วยกรองพร้อมกากตัวอย่างที่เหลือ

$$\%ADF = \frac{A-B}{C} \times 100$$

A = น้ำหนัก Glass Filter Crucible + ตัวอย่างอาหารหลังอบ

B = น้ำหนัก Glass Filter Crucible + ตัวอย่างอาหารหลังเผา

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

%Cellulose = ADF-ADL

การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

1. นำ Extraction cup ที่สะอาดมาอบที่อุณหภูมิ 100 °C ทิ้งไว้ข้ามคืน วันต่อมานำไปทิ้งไว้ใน Desiccator แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในกระดาษกรองขนาด 40 ทำการห่อให้สนิทแล้วจึงใส่ใน Thimble จากนั้นปิดด้วยสำลีที่สะอาด

3. ใส่ Thimble ที่มีตัวอย่างลงเข้าเครื่องสกัดไขมัน

4. เท Petroleum ether ลงใน Extraction cup 100 ml แล้วนำไปวางเข้าเครื่องสกัดไขมัน

5. ให้ความร้อน โดยตั้งค่าที่อุณหภูมิ 180 °C และเปิด Cooling bath

6. โดยเครื่องไขมันแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1 ขั้นตอนที่ 1 Immersion ใช้เวลา 120 นาที

2 ขั้นตอนที่ 2 Washing ใช้เวลา 60 นาที

3 ขั้นตอนที่ 3 Recover ใช้เวลา 20 นาที

7. เมื่อสกัดเสร็จแล้ว (ใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง) นำ Extraction cup เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C ทิ้งไว้ข้ามคืน และนำ Thimble ออกจากเครื่องสกัดไขมัน

8. นำตัวอย่างออกจาก Thimble แล้วปล่อย Thimble ทิ้งไว้ให้แห้ง

9. นำ Extraction cup ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 °C มาปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator จากนั้นจึงชั่งน้ำหนัก

<u>การคำนวณ</u>

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{(B-A) \times 100}{W}$$

A = น้ำหนักของ Extraction cup

B = น้ำหนักของ Extraction cup + ไขมันหลังอบ

C = น้ำหนักตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

1. นำถ้วยกระเบื้องเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °c ทิ้งไว้ 1 คืน นำออกจากเตาเผาใส่โอบแห้งชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งพร้อมบันทึกค่าน้ำหนัก (W_1)

2. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาเถ้าประมาณ 2-5 กรัมลงในถ้วยกระเบื้องชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_2)

3. ใช้ tong คีบถ้วยกระเบื้องที่บรรจุน้ำหนักตัวอย่างเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °c เมื่อเปิดเตาเผาให้รอจนได้อุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้แล้วจึงจับเวลา 4-6 ชั่วโมงปิดสวิสต์เตาเผาปล่อยไว้เตาเผาเย็นจึงใช้ tong คีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผามาใส่โถอบแห้งทิ้งไว้ให้เย็นนาน 30 นาที

4. ชั่งน้ำหนักหลังเผาด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_3)

การคำนวณปริมาณเถ้าทั้งหมด

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{(W_1-W_1)\times 100}{(W_2-W_1)}$$

W_1 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเปล่าที่ผ่านการอบแห้ง

W_2 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + ตัวอย่างก่อนเผา

W_3 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + ตัวอย่างเถ้าหลังเผา

วิธีการวิเคราะห์เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash, AIA)

1. นำเถ้าที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าทั้งหมด มาเติมกรด HCl (5M) จำนวน 25 ml จากนั้นนำเอาไปวางบนเตาไฟฟ้า(Hot plate) และต้มให้ระเหยอย่างช้าเป็นเวลา 30 นาที

2. กรองตัวอย่างหลังการต้มโดยเทสารละลายเถ้าลงบนกระดาษกรองนำกระดาษกรองที่ไม่มีเถ้า (Ashless filter paper- Whatman No.42) ที่อยู่ในกรวยแก้วลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด flask 250 ml พร้อมล้างถ้วยกระเบื้องด้วยน้ำกลั่นร้อน จนไม่มีกรดหลงเหลืออยู่

3. ย้ายกระดาษกรองจากข้อ 2 ไปไว้ในถ้วยกระเบื้องอันเดิมและนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °c ± 5 °c ทิ้งไว้ 1 คืน

4.. ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรจนได้ปริมาตร 250 ml จากนั้นเก็บตัวอย่างสารละลายไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาแคลเซียมและฟอสฟอรัส

5. เมื่ออบถ้วยกระเบื้อง+กระดาษกรองครบ 1 คืน จากนั้นใช้ tong คีบไปเตาเผาอุณหภูมิ 550-600°c เมื่อครบ 4-6 ชั่วโมงปิดสวิสต์เตาเผาปล่อยไว้เตาเผาเย็นจึงใช้ tong คีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผามาใส่โถอบแห้งทิ้งไว้ให้เย็นนาน 30 นาที

6. ชั่งน้ำหนักหลังเผาด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_4)

การคำนวณ

$$\% \text{ เถ้าที่ไม่ละลายในกรด} = \frac{(W_4-W_1)\times 100}{(W_2-W_1)}$$

เมื่อ W_4 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + ตัวอย่างหลังเผาที่ผ่านการย่อยด้วยกรด

% เถ้าที่ละลายในกรด = 100 – เถ้าที่ไม่ละลายในกรด

การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม

- เปิดเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

- ทำการ warm up หลอด Hollow cathode lamp และ optimize เครื่อง พร้อมทั้งตรวจสอบเปลวไฟชนิด air- acetylene และใช้ burner ชนิด air- acetylene burner

- นำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm วัดค่าการดþดกลืนแสง

- software ของเครื่องจะทำการประมวลและเขียนกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมตราฐานแคลเซียม

- นำสารละลายตัวอย่างวัดค่าการดูดกลืนแสง

- คำนวณปริมาณแคลเซียม

%Ca = ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมที่อ่านจากเครื่อง *DFฃ

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส

8.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐานของฟอสฟอรัส

8.2 ดูดสารละลายเถ้าตัวอย่างที่ได้จากปฏิบัติการ ด้วย pipette ปริมาณ 0.5 ml. ใส่ลงในหลอดทดลอง และบันทึกปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้

8.3 เติมสารละลาย molybdovanadate reagent 2 ml. ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองให้ได้ปริมาตรรวมครบ 10 ml.

8.4 ผสมสารละลายด้วยเครื่อง Vortex mixer วางไว้ 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 nm.

<u>การคำนวณ</u>

ความเข้มฟอสฟอรัส = (mg. P) x (ปริมาตรสารละลายเถ้าทั้งหมด/ปริมาตรสารละลายเถ้าที่ใช้)

ซึ่งความเข้มข้นฟอสฟอรัสหาได้จาก = สมการเส้นตรง Y = MX + C

ภาคผนวก ข

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักตัวเริ่มต้นไก่เนื้อระยะ 1 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	9.032	2.2579	0.974	0.4366^{ns}
Error	30	69.547	2.3128		
Corrected Total	34	78.606			

C.V. (%) = 3.7705 Root MSE = 1.520789 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักตัวเริ่มต้นไก่เนื้อระยะ 17 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	5369	1342.3	0.7028	0.5962^{ns}
Error	30	57291	1909.7		
Corrected Total	34	62687			

C.V. (%) = 8.159959 Root MSE = 43.700114 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักตัวเริ่มต้นไก่เนื้อระยะ 35 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	34271	8567.8	1.3383	0.2787^{ns}
Error	30	192064	6402.1		
Corrected Total	34	226335			

C.V. (%) = 3.9298 Root MSE = 80.0131 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	4123	1030.8	0.5264	0.7171^{ns}
Error	30	58743	1958.1		
Corrected Total	34	62866			

C.V. (%) = 8.918418 Root MSE = 44.250424 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	15174	3793.4	1.737	0.1679^{ns}
Error	30	65516	2183.9		
Corrected Total	34	80690			

C.V. (%) = 7.22572 Root MSE = 46.732216 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.052474	0.0131186	1.3341	0.2802^{ns}
Error	30	0.295000	0.0098333		
Corrected Total	34	0.347474			

C.V. (%) = 7.574663 Root MSE = 0.099163 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อที่อายุ 18-35 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	22829	5707.3	1.2521	0.3105^{ns}
Error	30	136746	4558.2		
Corrected Total	34	159575			

C.V. (%) = 4.495674 Root MSE = 67.514443 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อที่อายุ 18-35 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	229003	57251	4.5646	0.005342**
Error	30	376267	12542		
Corrected Total	34	605270			

C.V. (%) = 5.333873 Root MSE = 111.991071 ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของไก่เนื้อที่อายุ 18-35 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.075331	0.0188329	5.575	0.001771**
Error	30	0.101343	0.0033781		
Corrected Total	34	0.176674			

C.V. (%) = 4.154074 Root MSE = 0.058121 ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อที่อายุ 1-35 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	21475	5368.8	0.7107	0.5911^{ns}
Error	30	226635	7554.5		
Corrected Total	34	248110			

C.V. (%) = 4.347108 Root MSE = 86.916627 ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อที่อายุ 1-35 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	369092	92273	4.6176	0.005032**
Error	30	599481	19983		
Corrected Total	34	968573			

C.V. (%) = 5.135295 Root MSE = 141.361239 ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของไก่เนื้อที่อายุ 1-35 วัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.062440	0.0156100	7.1481	0.0003625***
Error	30	0.065514	0.0021838		
Corrected Total	34	0.127954			

C.V. (%) = 3.394045 Root MSE = 0.046731 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงของ Villi ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.53834	0.134586	32.346	7.818e-15 ***
Error	65	0.27046	0.004161		
Corrected Total	69	0.8088			

C.V. (%) = 4.451613 Root MSE = 0.064506 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความลึกของ Crypt ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.020237	0.0050593	25.103	1.357e-12 ***
Error	65	0.013100	0.0002015		
Corrected Total	69	0.033337			

C.V. (%) = 6.938931 Root MSE = 0.014195 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพื้นที่ของ Villi ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.038877	0.0097193	6.5134	0.00018 ***
Error	65	0.096993	0.0014922		
Corrected Total	69	0.13587			

C.V. (%) = 13.64982 Root MSE = 0.038629 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	22.013	5.5033	4.3972	0.0033 **
Error	65	81.351	1.2516		
Corrected Total	69	103.364			

C.V. (%) = 13.58271 Root MSE = 1.118749 ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงของ Villi ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.19968	0.049919	1.1713	0.3317^{ns}
Error	65	2.77011	0.042617		
Corrected Total	69	2.96979			

C.V. (%) = 13.86693 Root MSE = 0.206439 ns = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความลึกของ Crypt ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.035909	0.0089771	12.707	1.07e-07 ***
Error	65	0.045921	0.0007065		
Corrected Total	69	0.08183			

C.V. (%) = 13.91627 Root MSE = 0.026580 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพื้นที่ของ Villi ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.01242	0.0031050	0.7439	0.5656^{ns}
Error	65	0.27130	0.0041738		
Corrected Total	69	0.28372			

C.V. (%) = 20.97575 Root MSE = 0.064605 ns = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	55.147	13.7868	9.6976	3.261e-06 ***
Error	65	92.409			
Corrected Total	69	147.556			

C.V. (%) = 14.81786 Root MSE = 1.192351 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะสัณฐานวิทยาความสูงของ Villi ลำไส้เล็กส่วนท้าย (Ilium) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.49148	0.122869	10.949	7.561e-07 ***
Error	65	0.72944	0.011222		
Corrected Total	69	1.22092			

C.V. (%) = 10.1082 Root MSE = 0.105934 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความลึกของ Crypt ลำไส้เล็กส่วนท้าย (Ilium) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.028929	0.0072321	17.041	1.329e-09 ***
Error	65	0.027586	0.0004244		
Corrected Total	69	0.056515			

C.V. (%) = 11.72413 Root MSE = 0.020601 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพื้นที่ของ Villi ลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.027929	0.0069821	10.509	1.255e-06 ***
Error	65	0.043186	0.0006644		
Corrected Total	69	0.071115			

C.V. (%) = 15.55446 Root MSE = 0.025776 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราส่วนของความสูง villi ต่อความลึกของ crypt ลำไส้เล็กส่วนท้าย (Ilium) ของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	18.671	4.6678	10.157	1.893e-06 ***
Error	65	29.872	0.4596		
Corrected Total	69	48.543			

C.V. (%) = 11.00881 Root MSE = 0.677938 *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.001)

ตารางภาคผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนประชากร *E.coli* ในซีกัมของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	9.6527e+14	2.4132e+14	2.5803	0.06188^{ns}
Error	25	2.3381e+15	9.3524e+13		
Corrected Total	29	3.30E+15			

C.V. (%) = 104.3903 Root MSE = 9.67E+06 ns = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P>0.05)

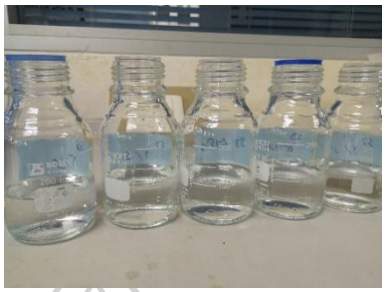
ตารางภาคผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนประชากร LAB ในซีกัมของไก่เนื้อ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	5.6070e+17	1.4017e+17	0.7539	0.5649^{ns}
Error	25	4.6486e+18	1.8594e+17		
Corrected Total	29	5.2093e+18			

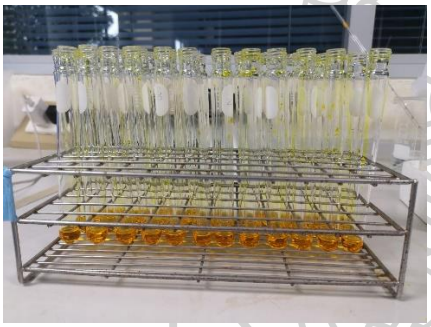
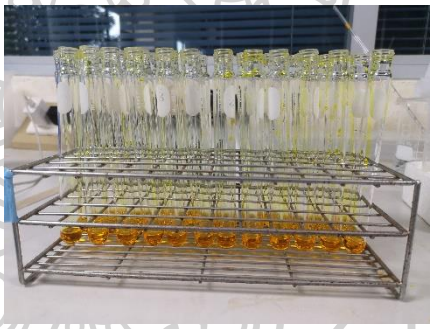
C.V. (%) = 327.4689 Root MSE = 4.31E+08 ns = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (P>0.05)

ภาคผนวก ค

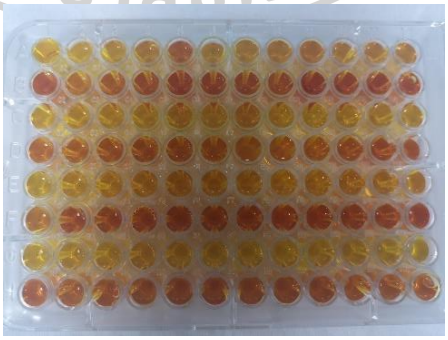
ภาพดำเนินการทดลอง

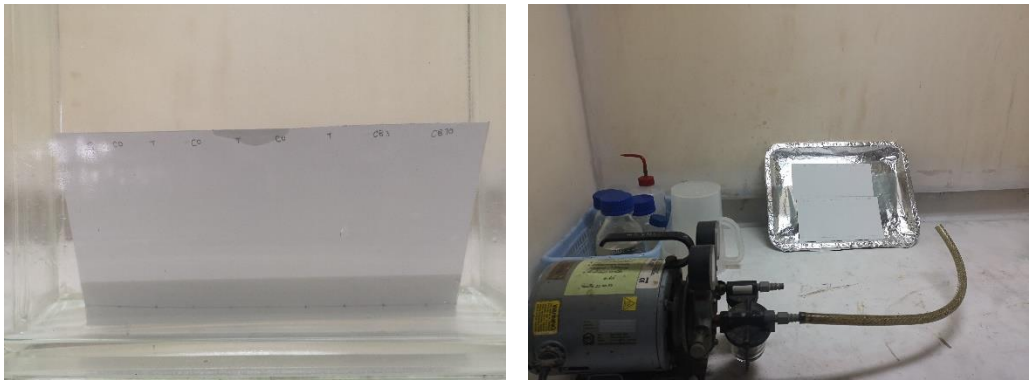

ภาคผนวกที่ 1 แสดงการย่อยได้ในหลอดทดลอง (In vitro digestion) ของรำละเอียดและอาหารไก่ที่ใช้รำละเอียดร่วมด้วยการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวม

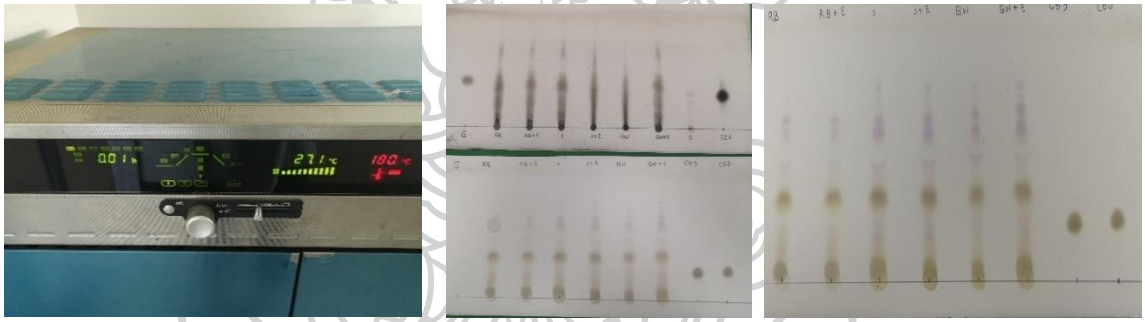

ภาคผนวกที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณทั้งหมด

ภาคผนวกที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณทั้งหมดด้วยเครื่อง microplate reader spectrophotometer

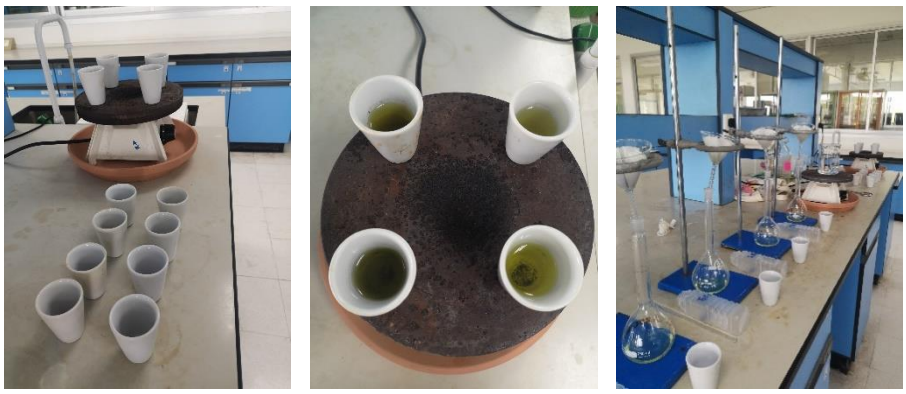


ภาคผนวกที่ 4 การวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ด้วยวิธี Thin-layer chromatography (TLC) โดยการนำแผ่น TLC นำไปจุ่มลงในถังที่มี Mobile phase ซึ่งประกอบด้วย n-butanol : ammonium hydroxide : Distilled water เมื่อ Mobile phase เคลื่อนจนสุดแผ่น นำแผ่น Silica gel ออกมาผึ่งให้แห้ง จากนั้นพ่นด้วย Reagent ผึ่งไว้จนแห้ง



ภาคผนวกที่ 5 ขั้นตอนการนำแผ่น TLC ไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 100 °C จนเห็นตัวอย่างชัด

ภาคผนวกที่ 6 แสดงการหาเถ้าโดยนำถ้วยกระเบื้องที่บรรจุน้ำหนักตัวอย่างเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °c เมื่อเปิดเตาเผาให้รอจนได้อุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้แล้วจึงจับเวลา 4-6 ชั่วโมง



ภาคผนวกที่ 7 แสดงการวิเคราะห์เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (Acid Insoluble Ash, AIA)

ภาคผนวกที่ 8 แสดงการเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์ CF NDF และ ADF ใน fiber cap

ภาคผนวกที่ 9 แสดงการวิเคราะห์ CF NDF และ ADF ใน fiber cap ด้วยการต้มในสารละลาย

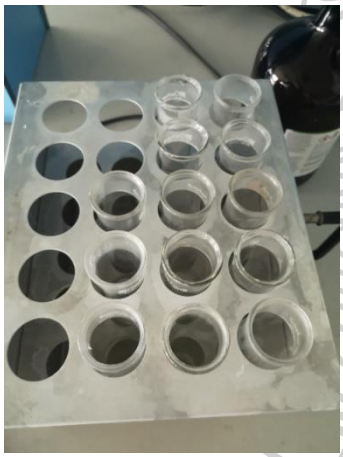

ภาคผนวกที่ 10 แสดงการวิเคราะห์ CF NDF และ ADF ในขั้นตอนการล้างสารละลายที่ใช้ต้ม ด้วยน้ำกลั่นร้อน 2-3 ครั้ง เพื่อล้างสารละลายที่ใช้ต้ม



ภาคผนวกที่ 11 แสดงการวิเคราะห์ CF NDF และ ADF ในขั้นตอนการนำ fiber cap ออกจากชุดย่อยมาใส่ภาชนะรอง (ฟอยด์อะลูมิเนียม) หลังจากนั้นนำ Fiber Cap ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ° C นาน 12-24 ชั่วโมง (หรืออบทิ้งไว้ข้ามคืน)


ภาคผนวกที่ 12 แสดงการวิเคราะห์ ADL ในขั้นตอนการนำเอาตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์หา ADF ใน Fiber Cap ใส่ถ้วยกรอง (Glass Filter Crucible) ด้วยการย่อยด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ภายใต้ตู้ดูดควันใช้แท่งแก้วคน แล้วปล่อยให้ตัวอย่างแช่อยู่ในสารละลายกรดต่อไป

ภาคผนวกที่ 13 หลังจากเติมกรดครบ 3 ครั้งแล้ว (3 ชั่วโมง) นำถ้วยกรอง (Glass Filter Crucible) ที่มีตัวอย่างที่เหลือจากการย่อยด้วยกรดเข้มข้น แล้วนำไปต่อประกอบเข้ากับชุดเครื่องดูดสุญญากาศ (Aspirator pump) เพื่อทำการล้างกรองทำความสะอาดคราบกรดออกให้หมด



ภาคผนวกที่ 14 แสดงการวิเคราะห์โปรตีน ในขั้นตอนการชั่งตัวอย่างใส่ในหลอด Kjeldahl flask และใส่ลงใน Digestion rack จนครบ 20 ช่อง

ภาคผนวกที่ 15 แสดงการวิเคราะห์การหาโปรตีนในขั้นตอนการกลั่นและการไตเตรท


ภาคผนวกที่ 16 แสดงการวิเคราะห์หาไขมัน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุวนันท์ เสร็จกิจ
วัน เดือน ปี เกิด	17 กุมภาพันธ์ 2539
สถานที่เกิด	สมุทรสงคราม
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนศรัทธาสมุทร จ.สมุทรสงคราม มัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนศรัทธาสมุทร จ.สมุทรสงคราม ปริญญาตรี : สาขาสัตวศาสตร์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.เพชรบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	66 หมู่ 7 ตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมืองสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสงคราม 75000
ผลงานตีพิมพ์	สุวนันท์ เสร็จกิจ, สุภาวดี ฉิมทอง, พิเชษฐ ศรีบุญยงค์ และ ภัทราพร ภุมรินทร์. (2564). การผลิตโอลิโกแซคคาไรด์จากรำละเอียดโดยใช้เอนไซม์เพื่อพัฒนาเป็นพรีไบโอติกในอาหารสัตว์. แก่นเกษตร. 48(ฉบับพิเศษ2): 38-44.